ELEMENTI

DI

FISICA UNIVERSALE.

Digitized by Google

22018

ELEMENTI

DI

FISICA UNIVERSALE

DEL SACERDOTE ROMANO

FRANCESCO REGNANI

DOTTORE IN SACRA TEOLOGIA ED IN FILOSOFIA E MATEMATICA,
PROFESSORE DI FISICA UNIVERSALE NEL GINNASIO ROMANO DI FILOSOFIA,
DI FISICO-CHIMICA NEL LICEO DEL PONTIFICIO SEMINARIO ROMANO,
E DI FISICA SPERIMENTALE NEL PONTIFICIO COLLEGIO URBANO.

SECONDA EDIZIONE

MIGLIORATA, E NOTABILMENTE ACCRESCIUTA DALL'AUTORE.

PARTE SECONDA.

VOLUME II.

ROMA.

NELLA STAMPERIA DELLE INCISIONI ZILOGRAFICHE.
21. Passeggiata di ripetta.

1863.

SEZIONE SECONDA.

IMPONDERABILI.

PROEMIO.

***1. Oggetto della presente Sezione.** — Abbiamo annunciato fin dal principio di questa Seconda Parte (**6.**), che la presente Sezione à per oggetto lo studio di quegli agenti fisici, i quali, qualunque intensità acquistino, non mostrano mai peso di sorta, e però ànno ricevuto il nome generico di *imponderabili*. Abbiamo anche ivi accennato, che uno di questi illumina e si denomina *luce*, l'altro riscalda ed è chiamato *calorico*, il terzo attrae e respinge e vien detto *elettricità*. È chiaro dunque che questa Sezione dovrà essere ripartita in tre distinti Capi. Noi tratteremo della luce nel primo, dell'elettricità nel secondo, e nel terzo del calorico.

CAPO PRIMO.

LUCE.

2. Ripartizione della materia. — Non vi à chi ignori che al buio, o ad occhi chiusi noi non vediamo nulla. Dunque gli oggetti, che noi miriamo, operano su di noi per mezzo di un qualche essere dotato della facoltà di modificare i nostri occhi medesimi in diverse maniere, per determinarli a riportare all'animo quelle svariate impressioni, che producono tutti i fenomeni della visione. Ora questo agente, il quale, checchè sia in sè medesimo, è da tutti conosciuto sotto il nome di *luce*, è un imponderabile. Imperocchè per quanto si faccia variare la intensità della luce di un corpo, recandolo a diversi gradi di roventezza, e per esquisite che sieno le bilance adoperate all'uopo, non riesce di avvertire variazione veruna nel peso del corpo medesimo. E appunto di questo

agente imponderabile, cioè della luce, dobbiamo esclusivamente occuparci nel presente Capitolo. Poichè per altro la luce si diffonde e propaga per ogni lato; rimbalza e riflette sui corpi; si spezza e rifrange nei differenti mezzi, pei quali trapassa; si scompone e disperde in varii colori; si ripiega e diffrange ai lembi dei corpi, e viene variamente alterata, o come dicono polarizzata in certe determinate occasioni; e finalmente induce modificazioni le più svariate nell' organo sensorio; così a seconda di questi sei ordini di fatti la trattazione presente verrà scompartita in sei distinti Articoli.

ARTICOLO I.

PROPAGAZIONE DELLA LUCE.

3. Nozioni preliminari. — Innanzi tratto uopo è stabilire alcuni fatti, ed i vocaboli usati a rappresentarli.

I. scolii. 1° Il Sole, le stelle, le fiamme, i corpi roventi sono visibili da ogni lato ed in ogni tempo; invece i pianeti, la Luna, tutte le cose terrestri non infiammate nè arroventate non sono visibili, che quando e dove sono esposte al Sole o almeno ad una fiamma. Insomma alcuni corpi posseggono da sè il principio della loro visibilità, ed altri da quei primi lo ricevono. In altri termini, alcuni corpi splendono di luce propria, ed altri di luce altrui.

2° La esposta avvertenza ci fa conoscere che non sempre la luce viene direttamente da un corpo a modificare i nostri occhi; ma talora imbattendo sopra qualche oggetto è rimbalzata da questo, e così viene agli occhi nostri per farci vedere non l' oggetto, da cui essa emana, ma quello dal quale è stata riverberata.

3° I quali fatti non sarebbero possibili, se la luce non traversasse speditamente l'aria, come trapassa (chi non lo sà?) per l' acqua, pel vetro, e in qualche modo anche per la carta.

II. definizioni. 1° I corpi, che splendono per luce loro propria, diconsi *luminosi*,

2° Quelli, i quali non sono visibili che per luce altrui, si chiamano *opachi*.

3ª Gli uni e gli altri in quanto splendono sono detti *lucidi*.

4ª L'emanazione della luce da un corpo luminoso è denominata *emissione*.

5ª Il rimbalzare, che fa la luce dai corpi opachi, si appella *diffusione*, ed anche *riflessione irregolare*.

6ª Quei corpi ponderabili, che alla maniera di una lastra di limpido cristallo lasciano passare la luce senza diffonderla, e però non impediscono la visione degli oggetti che stanno dietro di loro, si denominano *diafani* o *trasparenti*.

7ª *Opachi* o *adiafani* sono detti quelli, che non permettono alcun passaggio alla luce.

8ª Sono appellati *semitrasparenti*, e volgarmente *trasparenti* quelli, pei quali la luce passa bensì, ma nel passare che fa è diffusa tutt'intorno in guisa che spariscono gli oggetti dai quali essa è inviata, ed appariscono invece questi semitrasparenti, i quali essa traversa. Sono tali le lastre smerigliate, la carta, le nuvole.

9ª Ma tanto fra i diafani che fra gli opachi alcuni sono chiamati *colorati*; e sono quelli, i quali sensibilmente modificano, o dipingono, per dir così, in qualche maniera la luce che li trapassa o che essi diffondono.

10ª Gli altri sono detti *acroici* ed anche *scoloriti*.

11ª Fra gli adiafani ànno il nome di *bianchi* quelli, che diffondono la luce colla medesima intensità e nello stesso colore, in cui giunse su di loro.

12ª Invece sono appellati *neri* quelli fra gli opachi, che sebbene colpiti da viva luce, non sono atti a diffonderla.

4. Propagazione per sfere. — Prescindiamo per ora dal caso eccezionale, in cui la luce trapassando per un diafano gradatamente più o meno denso, o lambendo i lembi assai sottili di un opaco, corre per linee curve. Perciò possiamo stabilire la seguente proposizione generale.

I. TEOREMA. *La luce si propaga per ogni verso e per linee rette.*

Dimostrazione della prima parte. La luce del Sole giunge su tutti i Pianeti, in qualunque lato essi si trovino: la luce di una lampada illumina una camera in ogni parte: ciascun punto di una parete illuminata, o di un vetro sme-

rigliato esposto alla luce, si vede da ogni lato della camera medesima. Ma nessun oggetto può restare illustrato, nè verun occhio può essere modificato, se la luce non pervenga fino al medesimo occhio od oggetto. Dunque ogni specie di luce, tanto la emessa dai luminosi, quanto la diffusa dagli illuminati, si propaga tutt'intorno per ogni verso.

Dimostrazione della seconda parte. A volere impedire, che

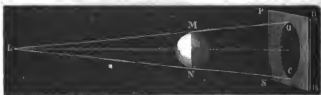



Fig. 1.

la luce proveniente da un punto lucido non pervenga in un dato sito, è necessario collocare un corpo adiafano precisamente nella *retta* che congiunge questo sito con quel punto. In altri termini: la luce si propaga a quel modo medesimo, in cui dal centro di una sfera tutti i raggi si avviano alla sua superficie.

II. DEFINIZIONI. 1ª Ciascuna linea di luce, che da un punto

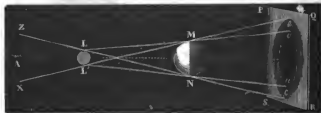



Fig. 2.

lucido va sopra un punto illuminato, si chiama *raggio*.

2ª È detto *fascetto* o *pennello lucido* un insieme di raggi, che partono da un punto lucido, e giungono sopra una piccola superficie.

3ª La interposizione (fig. 1.) di un corpo opaco (MN) fra un punto lucido (L), ed una superficie (PQRS) rischiarata da questo, impedisce che la luce giunga sopra una certa parte

(OC) di detta superficie. Suol dirsi che questa parte è in *ombra*; e che il resto è in *luce piena*.

4ª Ma se (fig. 2.) il corpo lucido (LL′) è esteso, oltre l'ombra (*ou*), e la luce piena (P*e*QR*c*S), vi è una zona intermedia (*ec*), a cui non giunge luce da tutti i punti (del corpo lucido), i quali le restano incontro, ma da alcuni solamente. E l'illuminazione di questa zona si chiama *penombra*.

III. SCOLII. 1° Il fascetto è una piramide, la cui base è uguale alla superficie illustrata dai raggi provenienti da un punto lucido. Quindi è che il fascetto sarà di figura conica ogni volta, che la superficietta illuminata da un punto è un circolo. E questo è il caso che ordinariamente si suppone.

2° Il contorno dell' ombra è determinato (fig. 1.) da una retta (LO) indefinita, la quale tenendosi sempre ferma sul punto lucido (L) scorre tutt' intorno tangente (in M, in N, in.....) al corpo opaco (MN).

3° Quando (fig. 2.) il corpo lucido (LL′) è esteso, l' ombra si determina imaginando una retta indefinita (AL) che, tenendosi sempre fissa in un punto medesimo (A), scorre tangente ad ambedue i corpi (LL′, ed MN) lucido ed opaco. La penombra poi viene determinata da una retta (XM) che, tenendosi sempre ferma sopra un medesimo punto preso fra il corpo lucido (LL′) e l' opaco (MN), gira tangente prima al lembo inferiore (L′) del lucido, ed al superiore (M) dell'opaco, e poi viceversa.

4° È manifesto che la penombra è quasi oscura come l'ombra in prossimità di questa (*o* ed *u*), e quasi chiara come la luce piena al suo ultimo limite (*e*, *c*); ossia va digradando in una sfumatura. Ond'è che non si può ad occhio determinare il limite preciso nè dell'ombra, nè della penombra.

5° Non v' à dubbio che la estensione della penombra aumenta coll'ingrandirsi delle dimensioni del corpo lucido: talchè essa diviene nulla, ove il corpo lucido sia un punto solo.

6° Parimente, a costante estensione del corpo lucido, la penombra si allarga o ristringe, secondo che aumenta o diminuisce la distanza fra l'opaco producente l'ombra e la superficie illustrata.

7° È ugualmente facile a comprendersi, che (fig. 3.), se

l'opaco (MN) sia rotondo, e il corpo lucido un punto (L), l'ombra geometricamente solida, ossia lo spazio in ombra dovrà essere un cono troncato (MOCN) avente la sua base (OC) sulla parete illustrata. Se poi (fig. 4.) il corpo lucido (LL′) fosse una sfera, e l' opaco (MN) fosse pure una sfera, ma più grande della lucida, dietro l'opaco nascerà un cono (MouN) di ombra troncato come sopra, ma rinchiuso dentro un invo-

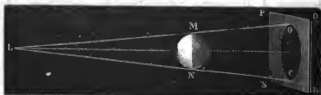



Fig. 3.

lucro (*e*Mo, *u*N*c*) di penombra, sottilissimo sul corpo opaco, e della massima grossezza (*eo*, *uc*) sulla superficie illuminata.

8° Finalmente, se il corpo (fig. 4.) lucido sferico (MN) fosse più grande dell'opaco (LL′), appresso a questo si formerebbe prima un cono (LAL′) di ombra avente la sua base (LL′) sull'opaco, e poi un cono (*q*A*d*) opposto al vertice (A) di penombra assai chiara; ed ambidue questi coni resterebbero

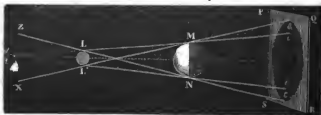



Fig. 4.

racchiusi dentro un involucro di penombra (ZLA, AL′X) sotto la forma di un cono troncato sul corpo (LL′) opaco.

5. Fenomeni fondamentali della visione. — Non è ancora tempo di esporre la teorica della visione. Ciò non ostante è assai opportuno, per la intelligenza di quello che viene appresso, dedurre fino da questo momento dalla legge della propagazione per sfere le fondamentali condizioni, sotto

le quali noi veggiamo gli oggetti. E per procedere con chiarezza principiamo dal fenomeno della camera oscura; la quale può essere sostituita da una cassetta opaca, avente un sottilissimo foro destinato a dare ingresso alla luce.

I. PROPOSIZIONE. *La luce, che entra pel foro di qualsivoglia forma di una camera oscura, dipinge sulla parete opposta di questa l'imagine fedele degli oggetti lucidi donde proviene.*

Dimostrazione. Supponiamo (fig. 5.) che davanti al foro triangolare (O) di una camera oscura trovisi una candela accesa. Tra tutti i fascetti lucidi, che da ciascun punto della fiamma vanno a spandersi tutto intorno nello spazio; e tra quelli stessi, che sono inviati dalla sua faccia (ABC) rivolta verso la camera oscura, ve n'à alcuni (AO, BO, CO,), che colpiscono e trapassano il foro (O). Consideriamo dapprima il fascetto di luce, che parte dal punto superiore (A) della fiamma stessa. Questo fascetto sarà determinato dal foro (O) ad assumere la figura di una piramide a base triangolare. Si verrà dunque per esso a dipingere, dentro la camera oscura e sulla parete opposta, un triangoletto lucido (*a*). Parimenti dal punto (B) esistente sull'orlo della fiamma parte un'altra piramide di raggi, la quale trapassa il foro (O) e va a render lucido un altro triangoletto (*b*) sulla parete medesima. Non altrimenti da un punto inferiore (C) si stacca un'altra piramide (CO) la quale traccia sulla parete un terzo triangolo lucido (*c*). Insomma da ciascun punto lucido dell'ultimo lembo della fiamma parte una piramide di raggi, che dipinge sopra la parete un piccolo triangolo di luce. Dunque tutti questi punti lucidi producono un anello quasi ovale di triangoletti splendenti, e sovrapponentisi l'uno sull'altro quasi in totalità; anello che sarà perciò

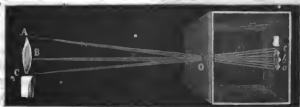



Fig. 5.

limitato da due ellissi parallele. Lo stesso dicasi di una seconda circonferenza di punti contigui agli antecedenti: lo stesso di tutte le altre circonferenze pochissimo distanti fra loro, l'insieme delle quali costituisce tutta la superficie della fiamma esposta alla camera lucida. Si comprende assai agevolmente che l'insieme di tutti questi triangoletti dee produrre sulla detta parete una ellisse lucida, ad onta che l'apertura sia triangolare; e che avverrebbe la cosa medesima, se l'apertura fosse un quadrato o un trapezio. Ma ove la fiamma è meno intensa vi è una serie di punti, che non inviano raggi: mancano quindi tante piramidi ed altrettanti triangoli lucidi quanti sono questi punti oscuri. Di più queste mancanze si trovano sulla parete proprio nei siti rispondenti alle parti della fiamma meno splendide: perchè la luce va per linee rette; e però le distanze reciproche (*ab*, *bc*, *cd*) dei triangoletti lucidi sono proporzionali alle distanze (AB, BC, CD) dei punti splendenti, che li producono. Dunque nell'interno della camera oscura si dipinge l'imagine fedele della fiamma, a cui essa camera si trova esposta.

Fig. 6.

II. scolii. 1° Imaginiamo (fig. 6.) un emisfero cavo (PQR) di vetro smerigliato, coperto da un disco metallico PR forato sottilmente nel centro (*o*), ed esposto di notte serena all'aperto in tal posizione, che il coperchio (PR) rimanga orizzontale. I singoli fascetti composti da raggi sensibilmente paralleli, inviati da ciascuna stella (A, A', A'', A''',....) al foro (*o*), s'introdurranno per questo nell'emisfero; e ciascuno di essi andrà a dipingere la imagine (*a*, *a'*, *a''*, *a'''*,....) della stella, donde proviene. Così il Cielo intero verrà ad essere ritrattato quasi in miniatura sul vetro smerigliato colla più grande precisione, e senza alterazione veruna nelle distanze angolari (*aoa'*, *a'oa''*,..) o apparenti delle stelle.

Google

2° Questo emisfero è una rozza immagine dell'occhio. Il quale (fig. 7.) è prossimamente un globo opaco, nella cui parte anteriore sotto una membrana trasparente (*a*) esiste un largo anello oscuro (*bd*) chiamato *iride*. Il centro o l'apertura (*c*) di questo anello chiamasi *pupilla*; e la superficie (*l*), opposta alla pupilla è tappezzata dalla così detta *retina*. Questa è formata da una reticella di filetti nervosi; i quali, raccogliendosi poi tutti insieme, formano il *nervo ottico* (*n*), che si porta fino al cervello. Su questa retina appunto si dipinge tutta la scena anteposta, per l'azione dei singoli fascetti di luce inviati da ciascun punto degli oggetti, che la compongono. A tacere per ora dei molteplici congegni, che sono ordinati in questa macchina meravigliosa a render nette e ben distinte le imagini; ci basti frattanto sapere che la visione degli oggetti dipende in tutto da questa imagine, e che, sebbene non sia

Fig. 7.

necessario che quella sia uguale a questa (perchè tra essa e l'anima si inframette l'azione dei nervi, capaci al certo di modificarla), deve ciò non ostante esserle in tutto proporzionale. Dal che discendono tre corollarii, che ad essere compresi fa duopo che sieno preceduti da alcune definizioni.

III. DEFINIZIONI. 1ª Si dice *asse* del fascetto la retta che, partendo dal punto lucido, giunge al punto medio della base di esso fascetto. Ed ove il fascetto entri nell'occhio, *l'asse del fascetto* è la retta, che unisce il punto lucido col centro della pupilla.

2ª Si chiama *asse ottico* la linea, che congiunge il centro della pupilla col punto medio o centro dell'occhio, e per consequenza anche col centro della retina.

3ª *Angolo ottico* è detto quello formato dalle prolungazioni dei due assi ottici.

4ª. Vien chiamato *angolo visuale* quello formato dalle due porzioni *più prossime all'occhio* degli assi dei due fascetti, che provengono da due punti opposti dell'oggetto.

IV. COROLLARII. 1° Dunque noi vediamo ciascun punto lucido nella *direzione*, che à in *prossimità dell'occhio* l'asse del fascetto lucido da esso inviato. Infatti il sito, a cui noi riferiamo un punto lucido, o che a noi apparisce da questo occupato, dipende dalla posizione della sua imagine sulla retina (II.2°). Ma questa posizione non dipende già dall'andamento o curvilineo o spezzato, che potrà avere accidentalmente l'asse del fascetto lucido, ma dalla sua direzione ultima; da quella cioè che esso asse à al suo entrar nell'occhio. Dunque ecc.

2° Dunque la grandezza apparente degli oggetti è data dall'ampiezza dell'angolo visuale. Imperocchè noi vediamo gli oggetti più o meno grandi, secondo che è più o men grande l'imagine che di loro si forma sulla nostra retina. Ora la grandezza di questa imagine dipende dalla grandezza dell'angolo visuale, o in altri termini dalla divergenza maggiore o minore, che ànno *in prossimità dell'occhio* gli assi dei due fascetti estremi. Quindi è che gli oggetti più lontani ci sembrano più piccoli, due fila di colonne parallele ci appariscono convergenti. Del che noi consapevoli stimiamo grandi gli oggetti che giudichiamo lontani e viceversa; e riputiamo lontani gli oggetti, che sappiamo essere più grandi di quello che ci appaiono. Insomma questo corollario annuncia in generale tutti i fenomeni della prospettiva, non che certe frequenti illusioni.

3° Noi riferiamo un punto lucido a quella distanza, a cui si trova il vertice del cono formato col prolungare la porzione prossima all'occhio del fascetto lucido da esso punto inviato. L'abitudine ci avverte che i punti lucidi, dall'insieme dei quali si forma l'oggetto della nostra visione, sono distanti da noi tanto, quanto dista il sito, ove i raggi del fascetto lucido da esso inviato si rimiscono e rinserrano tutti in un sol punto. Però, se non si tratti di oggetti lontanissimi, cioè se i raggi sieno fisicamente divergenti, noi siamo sempre portati a supporre l'oggetto (dovunque d'altronde esso sia) a quella

distanza, ove i raggi si riuniscono. Sembra ancora che in questo (oltre quelle alterazioni che dovremo studiare più tardi) influisca il nostro inflettere più o meno gli occhi, affinchè le due imagini di un dato oggetto si facciano sui siti omologhi delle due retine dei detti occhi: dacchè altrimenti l' oggetto stesso si vedrebbe raddoppiato; come accade ai briachi, ed a chi voglia mirare ad un tempo un oggetto lontano ed un dito prossimo. Ora questa inflessione maggiore o minore dipende dalla grandezza dell'angolo ottico, e questa grandezza medesima è strettamente congiunta colla divergenza, che ànno *in prossimità degli occhi* gli assi dei fascetti, che da uno stesso punto sono inviati; di modo che dove è il vertice del cono del fascetto, ivi è il vertice dell'angolo ottico. Dico in *prossimità degli occhi*: perchè, se si trova modo di ingrandire artificialmente l'angolo ottico col rendere più divergenti gli assi dei fascetti, e per conseguenza anche i raggi di questi; l' oggetto, sebbene resti fermo al suo posto, ci sembrerà riavvicinato.

8. Intensità della luce. — Principieremo dal concetto della intensità, quindi ne dimostreremo le leggi più interessanti a sapersi, e da ultimo descriveremo gli strumenti più acconci a valutarla

I. DEFINIZIONI. 1ª Si chiama *intensità* la quantità di luce, che si trova sopra l'unità di superficie.

2ª Gli strumenti adoperati á misurare la intensità della luce da φῶς, φωτός luce, e μετρεῖν misurare, sono detti *fotometri*.

II. COROLLARIO. Dalla stessa definizione della intensità consègnita che questa a parità di superficie è direttamente proporzionale alla quantità, e a parità di quantità è proporzionale inversamente alla estensione della superficie [1].

III. PROPOSIZIONI. 1ª *La intensità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza.*

Dimostrazione. Si consideri (fig. 9.) un fascetto conico (VMN) di luce, che entra per un forellino in una camera oscu-

1 Chiamando l, s, i rispettivamente la quantità, l'area della superficie, e la intensità, dalla definizione abbiamo $l = i \times s$. Donde $i = \frac{l}{s}$.

ra. Su ciascuna sezione circolare (c, c', c'',.....) di tal cono esiste la stessa quantità di luce; perchè non si suppone che questa aumenti o diminuisca per via. Ma le varie sezioni sono variamente estese; anzi, come insegna la Geometria, le aree delle sezioni circolari di un cono qualunque stanno fra loro, come i quadrati delle loro distanze (Va, Vb, Vd,...) dal vertice del cono. Dunque la luce sarà su queste varie sezioni tanto più diffusa; e per conseguenza altrettanto meno intensa, quanto è maggiore il quadrato della loro rispettiva distanza dal punto lucido.

Fig. 8.

Parimente imaginiamo tante superficie sferiche geometriche, aventi al loro centro comune un punto lucido. La luce, che da questo emana, le trapassa tutte nella stessa quantità. Ma la estensione loro è come il quadrato del rispettivo raggio. Dunque la intensità della luce seguirà inversamente questa stessa ragione. C.D.D.

Fig. 9.

2° *La intensità della luce di una superficie opaca illustrata cresce coll'ingrandirsi dell' angolo formato dal raggio lucido colla superficie medesima.*

Dimostrazione. È cosa conosciuta che la intensità della luce diminuisce colla obliquità dei raggi. A comprenderne la spiegazione si supponga, che un fascetto di luce entri per un forellino in una camera oscura. È chiaro che su ciascuna sezione, normale o obliqua, di tal cono lucido si ritrova la medesima quantità di luce. Ma la superficie, che resta illustrata col porla nell'andamento di tal cono, non è che una sezione del cono medesimo; e di più questa sezione è tanto più ampia, quanto (a parità di distanza dal vertice del cono) è maggiormente

Fig. 10.

obliqua verso l'asse del cono. Dunque la intensità deve diminuire colla detta obliquità 1.

IV. SCOLII. Fra i fotometri meritano particolare menzione quello di Wheatstone, e l'altro di Rumford.

1° Il fotometro di Wheatstone consiste (fig. 8.) in una perla di acciaio collocata all'orlo di un disco di sughero (S), sostenuto da una ruota (*ro*) dentata, che ingrana nella scanalatura interna di un tamburo o anello metallico. Siccome il perno della ruota (*ro*) è infilato in un braccio (*o*), il quale, per mezzo di un'asta che trapassa per l'asse del tamburo, è connesso ad un manubrio (M); così, girando questo manubrio medesimo, la detta ruota (*ro*) viene a concepire due movimenti, uno di rotazione (*r*SP) intorno al proprio asse, l'altro di rivoluzione (nel senso della freccia) intorno intorno alla circonferenza dell'anello internamente scanalato. Ognuno vede che la perla dovrà descrivere una epicicloide (fig. 10.); e

Fig. 11.

1 E più esattamente: l'intensità della luce è in ragion diretta del seno dell'angolo formato dai raggi colla superficie illustrata. Infatti si supponga un fascetto di raggi provenienti da tal distanza, da riuscire tutti fisicamente paralleli; il quale fascetto cada sopra la superficie AB (fig. 11.) sotto l'angolo LIB: e BC rappresenti la sezione normale di tal fascetto. Chiamando l la quantità di luce che cade sopra AB, ed i la intensità, per la definizione stessa della intensità sarà $l = i \times AB$. Ora $BC = AB$. sen. DAB: perchè in ogni triangolo rettangolo ciascun cateto è seno dell'angolo opposto, ed à per valore il *valore* del seno di un angolo a lui uguale preso nel circolo di raggio *uno*, moltiplicato (quel valore) pel raggio del circolo, a cui appartiene l'angolo; raggio che nel caso nostro è AB. Dunque $AB = \frac{BC}{\text{sen. BAD}}$, e però $l = i \times \frac{BC}{\text{sen. BAD}}$. E chiamando β l'angolo BAD, sarà $\frac{l}{BC} = \frac{i}{\text{sen. } \beta}$. Ora l, e BC sono quantità costanti, cioè invariabili al variare dell'angolo β; dunque i, e sen. β stanno fra loro in ragione diretta. C. D. D.

Digitized by Google

se il numero delle scanalature del tamburo sarà quattro volte quello dei denti della ruota; questa dovrà fare quattro rotazioni in ogni rivoluzione, e la epicicloide conterrà quattro epicicli. A misurare poi la intensità relativa di due fiamme, si collocano queste a tale distanza fra loro e dal fotometro, che la perla colpita dalla loro luce mostri al medesimo osservatore due punti brillanti, ed ugualmente brillanti. Il che allora si sarà ottenuto, quando le due epicicloidi parallele appariranno della medesima intensità, ossia *ugualmente vivaci*.

2° Il fotometro di Rumford consiste (fig. 12.) in una lastra semitrasparente (S), per esempio di vetro smerigliato, dietro la quale si pone uno stilo opaco (A), e dopo questo

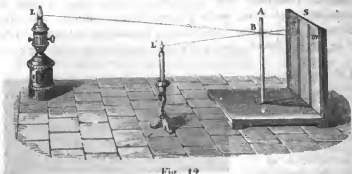



Fig. 12.

le due sorgenti di luce (L,L'), delle quali si vuol misurare la intensità. Ma a questo scopo si dee aver l'avvertenza di collocare le due luci a tal distanza dall' opaco (A), che le due ombre (*m*,*n*) prodotte (da A) sulla lastra (S) si tocchino coi lembi, e sieno ugualmente intense.

3° L' uso dei fotometri è fondato sul teorema enunciato nella *proposizione prima*, il quale per altro può confermarsi anche coll'esperienza. Infatti ad ottenere la stessa intensità delle ombre nel fotometro di Rumford, e dei due punti brillan-

Dal che discende, che, volendo confrontare l'intensità della luce col complemento del sopraddetto angolo, cioè con α, che chiamasi *angolo d' incidenza*, la detta intensità deve ritenersi direttamente proporzionale al coseno dell' angolo d' incidenza.

ti in quello di Wheatstone, quando una delle due sorgenti dista il doppio, il triplo,... dell'altra, è necessario che quella sorgente sia in sè medesima quattro, nove,... volte più intensa di questa. In altri termini, allora una candela, collocata all' unità di distanza, dà la stessa intensità di ombra o di punto brillante, che altre candele uguali collocate a distanze diverse, quando quelle che stanno a distanza duplice s'uniscono in un torchietto di quattro, quelle che trovansi a distanza triplice formano una torcia di nove, e via dicendo. Dalla qual legge discende la regola che, ad ottenere in numeri la intensità relativa di due sorgenti di luce, si debbono misurare le distanze, alle quali esse dànno la intensità medesima sul fotometro, e poi innalzarle al quadrato. Se, a cagion d' esempio, un becco a gasse trovasi lontano tre volte più dal fotometro che un lampione a olio, si dice che la intensità della luce a gasse è nove volte più intensa di quella a olio [1].

7. Velocità della luce. Si credè un tempo che la propagazione della luce fosse istantanea. Galileo pel primo sospettò che impiegasse un tempo determinabile; ma non riuscì a dimostrarlo. Roemer e Cassini, nel corso degli anni 1675 e 1676, condussero una serie di osservazioni sui satelliti di Giove, donde si potè concludere la seguente legge.

I. PROPOSIZIONE. *La luce percorre circa settanta mila leghe, ossia più di trecento chilometri, ogni minuto secondo.*

Dimostrazione. Sia il Sole in S (fig. 13.), T T'T''...

1 Vi è ancora un così detto *fotometro a trasparenza* ideato da Foucault, il quale consiste in una lastra semitrasparente verticale, divisa in due metà da un'altra pur verticale, ma opaca. Le due luci da misurarsi si collocano una di qua, l'altra di là dalla lastra opaca, (e così ciascuna metà del semitrasparente è esposta separatamente ad una luce diversa), e a tal distanza dalla lastra semitrasparente che le due metà di questa riescano ugualmente splendenti.

Siccome per altro le luci, che si confrontano, non sono quasi mai esattamente dello stesso colore, quindi avviene che, nel fotometro di Rumford e simili, è facile attribuire all'intensità ciò che devesi al colore. Per la qual cosa è utile ricorrere al fotometro dal Sig. Govi di Firenze proposto e detto *analizzatore*. Nel quale prima le luci si decompongono con un prisma (secondo la legge della dispersione, di cui parleremo all'articolo IV) in due spettri ugualmente lunghi e contigui, e poi si confrontano le parti dello stesso colore.

Digitized by Google

rappresenti l'orbita della Terra, e si supponga Giove fermo per un anno nel punto G dell' orbita sua. Di più $s\,s's''$ rappresenti l' orbita del suo primo satellite, e Go il cono d' ombra gettato da Giove dietro di sè. Intanto che il satellite compie l' orbita sua, accade che venga per un momento ad immergersi in tal cono ombroso, e però ad ecclissarsi. Ond'è, che si potrà precisare quanto duri la sua rivoluzione, misurando il tempo che trascorre tra una di queste immersioni, e la successiva. Or bene : tal tempo è circa 42 ore e mezzo (42^h, 28^m, 35^s). Sia dunque la Terra in T, e si noti il momento in cui accade la emersione. È certo che una centesima emersione, dopo questa, dovrà succedere di lì ad un tempo ugnale a 100×42^h, 28^m, 35^s. Intanto dall' osservazione risulta, che tale emersione anticipa di 10 in 12 minu-

Fig. 13.

ti. Ciò non può derivare che dal giungere che fa più presto alla Terra la luce del satellite. Infatti, all' epoca di questa centesima ecclisse, la Terra è passata da T in T'', la luce dunque del satellite per arrivare alla Terra dee percorrere una strada più breve dell'antecedente. Ma, per assicurarci anche meglio della cosa, facciamo un'altra osservazione. Quando la Terra è in T'' notiamo l' istante preciso dell' emersione del satellite; quindi aspettiamo una centesima emersione. Noi siamo portati a credere che questa debba accadere nel mese, giorno, ed ora data dall' addizionare al momento notato la quantità $100 \times 42{,}5$ circa. Ebbene : noi vedremo che l' emersione ritarda ancora un 12 minuti. E siccome in tale stagione la Terra si è traslocata in T , ossia si è allontanata da Giove; così noi dovremo ascrivere il ritardo al mag-

gior viaggio che dee in questo caso compire la luce per giungere ad essa. Anzi, se una delle due osservazioni si faccia nel momento dell'opposizione, e l'altra nell'istante della congiunzione, il ritardo e la precessione è 16^m, 26^s. Dunque la luce impiega 8^m, 33^s cioè 493^s a percorrere il raggio dell'orbita terrestre. E siccome tal raggio è 35 milioni di leghe, ossia circa 150 milioni di chilometri; così la luce percorre 70 mila leghe o più di 300 mila chilometri a secondo. Velocità che supera dieci mila volte quella della Terra, e sei milioni di volte quella di una palla di cannone.

II. COROLLARIO. Dunque noi vediamo il Sole non precisamente dov'è nell'istante dell'osservazione, ma dov'era 8^m, 13^s prima; ed Urano dov'era quattro ore innanzi. Di modo che se le stelle fisse fossero ora annichilate da Domeneddio, noi seguiremmo non ostante a vederle per tre interi anni almeno.

III. SCOLII. 1° È da notare che la velocità della luce sembra uniforme; poichè essa si mostra sempre la stessa sia nel perigeo, sia nell'apogeo di Giove, sia che la Terra si trovi agli estremi dell'asse principale, sia che a quelli del secondario.

2° Si può la legge medesima dimostrare anche con un altro metodo recentissimo, del quale per altro non è ancor tempo di tener discorso.

3° Queste prime nozioni sono già per sè medesime sufficientissime a farci intendere i pregi straordinarii della luce. Chè essa riempie tutto l'Universo, e senza delletter mai dalla sua direzione, nè recare il minimo impedimento ai pianeti, lo scorre in tutti i sensi e con velocità sì sorprendente, che in soli otto minuti percorre quello spazio, cui la più veloce palla di cannone non potrebbe travalicare in men di sei anni. Essa traversa francamente ben 50 miglia d'aria, invade l'oceano fino a grande profondità, trapassa per cristalli assai grossi, penetra gli strati superficiali di tutti i corpi opachi, i quali ridotti ad estrema tenuità divengono semitrasparenti. Essa dipinge i fiori e i frutti dei più vaghi colori; al suo apparire tutta si allieta la natura; senza di lei languirebbe la vegetazione; noi condurremmo una vita grama e melanconica, e le nostre cognizioni ed occupazioni ri-

Digitized by Google

marrebbero ristrette fra angustissimi limiti. Ma ci dispensa da ogni altra considerazione il sapere, che fra tutte le creature corporee la luce è la primogenita dell'Altissimo.

ARTICOLO II.

RIFLESSIONE DELLA LUCE.

8. Fenomeno della riflessione. — I. SCOLIO. Entri in una camera oscura per un foro un fascetto di raggi solari, i quali vadano ad investire una porzione della opposta parete, in mezzo a cui trovisi un piccolo specchio. *Da ogni parte* della stanza sarà visibile nel suo proprio colore quella zona della porzione di parete illustrata dal Sole, la quale circonda lo specchio; e tanto essa zona sarà più visibile, quanto la sua superficie sarà *men tersa e levigata*. Fin qui non abbiamo che il noto effetto della luce diffusa o irregolarmente riflessa. Ma riguardando lo specchio in *una determinata direzione*, si vede, al di là di esso e della parete, l'*imagine* splendentissima *del Sole*, la quale è tanto più vivace, quanto lo specchio è *più liscio e brunito*. Ciò mostra come i raggi di luce solare, nel cadere che fanno sullo specchio, si ripiegano tutti di conserva, venendo all'occhio in una nuova direzione, ma colla loro primiera disposizione rispettiva rendono visibile il Sole in un sito, in cui questo non è.

II. DEFINIZIONI. 1ª Il ripiegarsi della luce sui corpi pulimentati a specchio in una direzione determinata, senza perdere l'attitudine di mostrare i corpi dai quali essa proviene, si chiama in senso stretto *riflessione*.

2ª Il raggio, od anche il fascetto lucido, che imbatte sullo specchio, vien detto *raggio incidente*.

3ª Il punto, in cui il raggio incidente tocca lo specchio, è denominato *punto d'incidenza*.

4ª Il piano determinato dalla superficie dello specchio, o, se questo sia curvo, dal piano tangente lo specchio nel punto d'incidenza, chiamasi *piano riflettente*.

5ª Il raggio, o fascetto di luce, che sotto altra direzione rimbalza dallo specchio, è denominato *raggio riflesso*.

6ª S' immagini una retta sollevata dal punto d' incidenza perpendicolarmente al piano riflettente. Questa fa col raggio incidente un angolo, a cui si dà nome di *angolo d'incidenza*.

7ª Essa medesima fa col raggio riflesso un altro angolo denominato *angolo di riflessione*.

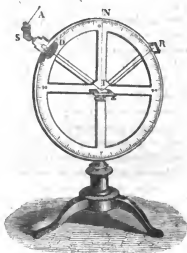
8ª Si denomina *piano d'incidenza* quello, in cui giace l'angolo di tal nome.

9ª È detto *piano di riflessione* quello determinato dall'angolo che porta il nome stesso.

10ª Quella parte della trattazione della luce, che si aggira sulla riflessione, si domanda *Catottrica*.

Fig. 14.

9. Legge fondamentale di Catottrica. — I. SCOLIO. A dimostrare la sopraddetta legge è assai opportuno lo strumento, che passiamo a descrivere. Si abbia (fig. 14.) un circolo graduato (DNR), il quale sia fermato verticalmente su di un sostegno, e porti al suo centro un piccolo specchio (I) orizzontale, e però perpendicolare al piano del circolo graduato. Inoltre al centro stesso (I) sieno impernati due bracci di metallo (ID, IR) mobili intorno ad un perno orizzontale. Uno di essi (cioè IR) porti un vetro smerigliato (R); l'altro (ID) un diaframma (D) opaco avente una piccola apertura in mezzo. Al di là poi del diaframma si ritrovi uno specchio mobile (S), destinato a ricevere un fascetto (A) di luce solare, e rifletterlo in guisa da farlo traversare l'apertura del diaframma, e cadere al centro (I) del piccolo specchio. Qui il raggio subirà una seconda riflessione, che è quella appunto che si vuole esaminare. Al quale intendi-

mento si deve fare in modo che il vetro smerigliato (R) scorra intorno alla circonferenza del circolo graduato fino al punto, in cui si ottiene che i raggi riflessi (da I) passino esattamente nel mezzo del vetro smerigliato medesimo.

II. TEOREMA. *Gli angoli d'incidenza e di riflessione giaciono in un piano stesso, e sono uguali fra loro.*

Dimostrazione della prima parte. Dalla disposizione stessa dell'apparato, il centro del diaframma (D) e quello dello specchietto (I) distano ugualmente dal piano del circolo graduato. E trovandosi lo specchio stesso (I) perpendicolare al piano medesimo, la sua normale è parallela al detto piano; e però equidista da questo con ogni suo punto. Per conseguenza il piano di incidenza è parallelo al piano del circolo graduato. Lo stesso dicasi del piano di riflessione. Perchè il sito (R), per cui il raggio riflesso (IR) traversa il vetro smerigliato (R), dista di fatto dal piano del circolo graduato, quanto ne dista il centro dello specchietto. Di più; questi due piani, paralleli ad un terzo, ànno un' intersezione comune; e questa è la normale sollevata dal punto di incidenza. Dunque stanno per diritto uno coll'altro.

Dimostrazione della seconda parte. Il circolo metallico verticale è graduato in modo, che sull'estremo superiore del suo diametro verticale, si trova segnato lo zero, e sopra i due estremi del diametro orizzontale sono impressi due 90°. Basta quindi guardare a qual grado del primo quadrante corrisponda il foro del diaframma, ed a quale il sito del vetro smerigliato traversato dal raggio riflesso corrisponda nel secondo quadrante. Sempre si ritroverà che, qualunque sia il valore dell'angolo di incidenza, i detti due gradi sono rappresentati dal medesimo numero.

III. COROLLARIO. Dunque il piano di riflessione è sempre normale al piano riflettente. Infatti il piano di incidenza è per definizione sempre perpendicolare al piano riflettente.

10. Fenomeni prodotti da uno specchio piano. — I. DEFINIZIONE. I Geometri dicono *simmetrici* due punti relativamente ad un piano, quante volte questi giaciano su di una stessa retta normale al piano, e ad ugual distanza uno al di qua, l'altro al di là del piano medesimo.

II. PROPOSIZIONI. 1ª *Un punto lucido, collocato dinanzi ad uno specchio piano, si vede anche dietro di questo, e precisamente al sito simmetrico.*

Dimostrazione. Lo specchio piano SS′ (fig. 15.) sia investito dai raggi di luce, che partono dal punto L: e fra questi si prendano di mira due raggi estremi LI, LI′ di un fascetto lucido. Si innalzi dal punto I la perpendicolare IP, e si faccia l'angolo PIR uguale ad LIP. Parimenti da I′ si innalzi la normale I′P′, e si costruisca l'altro angolo P′I′R′ uguale ad LI′P′. Dalla prima legge di Catottrica risulta che IR, ed I′R′ saranno i raggi estremi del fascetto riflesso. Ebbene: si prolunghino questi indefinitamente al di là dello specchio, e da L si abbassi una perpendicolare LK sul piano SS′, e questa pure si prolunghi indefinitamente. Principieremo dal dimostrare che tutte le prolungazioni IL′, I′L′ dei raggi riflessi trapassano la detta perpendicolare LK nel punto L′ simmetrico ad L. Infatti gli angoli LIK ed RIS′sono uguali, perchè complementi degli angoli LIP, ed RIP uguali per costruzione. Ma l'angolo RIS′ è uguale, perchè opposto al vertice, ad L′IK. Dunque anche LIK è uguale a KIL′; e per conseguenza LK uguaglia L′K; ossia la prolungazione del raggio riflesso RI trapassa l'indefinita perpendicolare LK precisamente nel sito simmetrico ad L. Vale lo stesso ragionamento pel raggio riflesso R′I′. Dunque le prolungazioni di tutti i raggi riflessi si rincontrano tutte in un *sol* punto, e questo punto è esattamente il simmetrico ad L. Il che vuol dire che i raggi emessi da L, e riflessi dallo specchio, pervengono ad un occhio collocato in RR′, al modo stesso in cui vi perverrebbono, se provenissero veramente da L′. Ma noi già abbiamo provato (§. IV. 3ª) che un punto lucido è veduto colà, ove è il vertice del cono formato sull'ultimo andamento che ànno i raggi lucidi all'entrare nell'occhio: quest' ultimo andamento nel caso nostro è tale, che il vertice del

Fig. 15.

cono si ritrova precisamente nel sito simmetrico ad L. Dunque un punto lucido ecc.

2ª *La imagine di un punto lucido collocato dinanzi ad uno specchio piano, che roti intorno ad un asse contenuto nel piano dello specchio medesimo, descrive intorno a quest'asse un arco doppio dell'angolo di rotazione dello specchio.*

Dimostrazione. Sia SS′ (fig. 16.) lo specchio girevole intorno alla retta I giacente nel suo piano (e però perpendicolare al piano della figura), ed L un punto lucido. Fatto centro in I, coll' apertura IL, si conduca un arco LCB di cerchio, e da L si abbassi una perpendicolare sul piano SS′; e si prolunghi fino all' incontro dell' arco in A. Qui si troverà l'imagine di L (1ª). Poi si supponga, che lo specchio abbia girato in S″S‴. Abbassata allora da L anche sopra S″S‴ una perpendicolare indefinita LB, l'intersezione B di questa colla circonferenza segnerà il sito in cui si sarà traslocata l'imagine. Or bene; gli angoli DIK, ed ALB sono uguali: perchè formati da lati rispettivamente normali. Ma l'angolo al centro è doppio dell' angolo alla circonferenza insistente sull' arco stesso; e però due angoli, che sieno uguali ed abbiano i vertici uno al centro e l' altro alla circonferenza di un medesimo cerchio, debbono insistere sopra archi, dei quali il primo sia metà del secondo. Dunque AB è doppio dell'arco DK.

Fig. 16.

III. COROLLARII. 1º Dunque, non solo di un punto, ma di un oggetto intero posto davanti ad uno specchio piano si forma l'imagine nel sito simmetrico. Imperocchè quello che è stato detto (fig. 17.) di un punto (L) dell' oggetto, può dirsi di ogni altro (L′). E considerando fra tutti quei soli fascetti lucidi (LIO, L′I′O), i quali pervengono all'occhio (O); si capisce facilmente che nel sito (AA′), simmetrico a quello

(LL′) occupato dall'oggetto, dovrà ottenersi di questo un'altra apparenza.

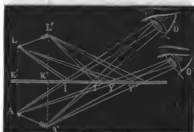
2° Dunque traslocando l'occhio sembrerà muoversi l'imagine di un oggetto dentro lo specchio. L'apparenza dell'oggetto certamente non dee muoversi, finchè l'oggetto e lo specchio rimangono fermi; perchè il sito simmetrico non cangia. Nondimeno, poichè collo spostarsi dell'occhio (che passa in O′), i fascetti lucidi, che entrano in esso, non sono più quelli di prima (IO,I′O) ma altri (YO′,Y′O′) i quali sono riverberati da punti (Y,Y′) dello specchio diversi dagli antecedenti (I,I′); così l'imagine veramente si sposta in riguardo alla cornice o ai limiti dello specchio, e però sembra traslocarsi.

IV. SCOLII. 1° Risulta dalle cose dette il seguente metodo, o regola grafica per determinare il sito dell'apparenza o imagine di un oggetto posto avanti ad uno specchio piano. Da ciascun punto (L, L′) dell'oggetto si abbassi una perpendicolare (LK, L′K′) al piano dello specchio, si prolunghi altrettanto (KA, K′A′) al di là di questo. La serie dei punti estremi (A, A′,...) di queste prolungazioni costituirà l'imagine intera cercata.

Fig. 17.

2° Questa imagine brillerà di una luce alquanto meno intensa di quella dell'oggetto: perchè una porzione della luce incidente sullo specchio è diffusa; ed un' altra porzione, se lo specchio non è perfettamente bianco, rimane estinta.

3° Le imagini ottenute con uno specchio piano non debbono dirsi rovesciate, ma simmetriche: ad onta che talvolta avvenga accidentalmente, che la simmetria produca un rovesciamento.

4° Un' applicazione di queste leggi assai utile nelle sperienze fisiche è *l'eliòstata*; ossia lo strumento, con cui, per mezzo di un movimento da oriuolo, si ottiene, che i raggi del

Sole incidenti sopra uno specchio vengano, ad onta del moto diurno, riflessi costantemente in una invariabile direzione.

11. Fenomeni di due specchi piani. — Su questo argomento convien dimostrare per parti la tesi, che passiamo ad esporre.

I. PROPOSIZIONE. *Di un punto* (fig. 18.) *lucido* (L) *collocato fra due specchi piani* (S,S′) *inclinati fra loro, ma normali ad un terzo piano* (esempigrazia quello della figura), I. *si ànno più apparenze*; II. *le quali trovansi distribuite intorno alla circonferenza che passa pel punto lucido, à il suo centro nella intersezione* (I) *degli specchi*, *ed è normale a questi*, III. *occupano sulla detta circonferenza siti omologi a quello occupato dal detto punto*; IV *e sono in numero uguale al rapporto fra la circonferenza, e l'angolo formato dagli specchi*, *purchè questo sia parte aliquota di quella.*

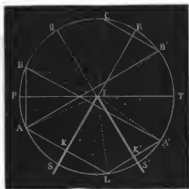



Fig. 18.

1ª *parte.* Abbassata dal punto lucido L la normale LK sopra lo specchio S, e prolungata altrettanto al di là, si avrà al suo estremo A un'apparenza: così ve ne sarà un'altra in A′ dietro S′. Ma A′ sta davanti allo specchio S; produce dunque imagine di sè nel sito simmetrico, ossia in B. Anche l'imagine A, stando davanti ad S′, dà l'imagine sua in B′; e B′ dà un'altra apparenza in C, e così via discorrendo. Dunque si ànno più apparenze.

2ª *parte.* Evidentemente IA è uguale ad IL: poichè i triangoli ILK, IAK sono uguali, come quelli che sono rettangoli ed ànno un cateto IK comune, e l'altro uguale per costruzione. Parimenti IA′ è uguale ad IL per la stessa ragione: come pure IB è uguale ad IL, IB′ uguale ad IL, e via dicendo. Di più, questi punti A,B,C,..., A′,B′,... per la

costruzione stessa della figura, stanno su di un piano perpendicolare agli specchi. E infatti sono perpendicolari a questi le rette LA, LA', A'B, AB',...

3ª *parte*. Si conducano da I tante rette IP, IQ, IR ... in guisa che SIP, PIQ, QIR,... riescano uguali ad SIS'; le singole apparenze A, B, C,... A', B',... occupano dentro questi angoli un sito omologo a quello occupato da L dentro SIS'. Imperocchè A dista da IS, quanto ne dista L (per costruzione); dista poi da IP, quanto L dista da IS': perchè dagli angoli uguali SIS', PIS togliendo gli uguali AIK, LIK, i residui PIA, LIS' sono uguali. Si dica altrettanto di tutti gli altri. Dunque ecc.

4ª *parte*. Finalmente, se dividendo il 360 per l'angolo (SIS') formato dai due specchi si ottiene un quoto intero, questo rappresenta il numero delle apparenze prodotte dalle imagini unitamente all'oggetto. Ed in vero, tali apparenze non possono essere più di tante: dacchè altrimenti in qualcuno dei sopraddetti angoli SIP, PIQ,... ve ne sarebbero due; e così una delle due almeno non occuperebbe un sito analogo a quello di L. Nè possono essere di meno: perchè se qualcuno di questi angoli fosse privo della sua imagine, ciò vorrebbe dire che esso non conterrebbe un punto simmetrico a qualcuna delle apparenze. Or questo, qualunque caso si faccia, sempre si vedrà che non può essere.

Fig. 19.

II. SCOLII. 1° Discende dalle leggi testè esposte la spiegazione del curiosissimo fenomeno del caleidoscopio, (così nominato da καλός *bello*, εἶδος *figura*, σκοπέω *guardo*). A comprenderla, sia un oggetto o un complesso di oggetti A (fig. 19.) posti fra due specchi piani S, S' inclinati fra loro di 36°. Dopo le cose sopraddette facilmente si intende, che di questo oggetto si formerà un'imagine fedele in B, ed una in C; in D si replicherà l'imagine di C, ed in E l'imagine di B; di E si otterrà un'altra imagine in F; e via. Ora queste

imagini essendo simmetriche due a due, ne risulterà l'apparenza di un intero rosone. Basta dunque introdurre i due specchi SIS′ in un tubo opaco, e ad un estremo del tubo, fra due lastrine di vetro quasi parallele, porre alcuni pezzetti di talco, e all'altro estremo applicare l'occhio; perchè i detti pezzetti sieno veduti sette volte replicati in simmetria, e però sotto una bella figura. Anzi ogni volta che si darà un colpo allo strumento, i pezzetti medesimi prenderanno una nuova disposizione, e dalla loro nuova combinazione fortuita risulterà un' apparenza ordinata.

2° Dalle leggi medesime risulta che quanto è più piccolo l'angolo formato da due specchi, tanto è maggiore il numero delle apparenze, che se ne ottengono. E però se sotto un'inclinazione piccolissima, le imagini debbono essere mol-

Fig. 20.

tissime, sotto un' inclinazione nulla, ossia nel caso di due specchi paralleli, le imagini debbono essere in numero indefinito. E questo è ciò che accade veramente. Sia fra due specchi piani e paralleli S ed S′ (fig. 20.) una palla, tinta in bianco verso S, ed in nero verso S′. L'occhio collocato in O, secondo la nota regola grafica (**10.** IV. 1°), la vedrà bianca dietro S in A, e nera dietro S′ in A′; e poi nera in B, bianca in B′; bianca in C e nera in C′, e così di séguito. Insomma queste imagini saranno disposte due a due ad uguali distanze fra loro; e da una parte se ne avrà una bianca una nera, una bianca una nera,... dall'altra una nera una bianca, una nera una bianca, e via dicendo. Ma il numero delle imagini *di fatto* osservate sarà sempre limitato, anche perchè quelle che restano ad una certa distanza, per

la piccolezza dell'angolo visuale, per esempio E′ O F′, si sovrapporranno.

12. Specchi curvi non sferici.— I. SCOLIO. Gli specchi cilindrici (fig. **21**.) dànno imagini uguali all'oggetto nel senso dell'altezza, o dell'asse del cilindro, non così nella larghezza: i conici poi dànno imagini alterate nell'uno e nell'altro senso. Per la qual cosa si fanno dei disegni alterati al contrario, chiamati *anamorfosi*, e si espongono a questi specchi; i quali correggendo queste alterazioni, restituiscono imagini regolari, senza che si vegga a prima giunta quali sieno gli oggetti, donde essi le traggono.

Fig. 21.

II. PROPOSIZIONI. 1ª *I raggi lucidi che partono da un foco di una ellissoide, e sono da questa riflessi, si incrocicchiano tutti all'altro foco.*

Dimostrazione. Tutte le linee che partono da uno dei fochi di una ellissoide, se giunte alla superficie di questa, vengano ripiegate in guisa da far gli angoli di riflessione uguali a quelli di incidenza, andranno (come insegnano i Geometri) a trapassare tutte per l'altro foco. Dunque se un punto lucido sia collocato ad uno de' fochi di un' ellissoide pulimentata a specchio, i raggi inviati da esso saranno riflessi in guisa da riscontrarsi tutti nell'altro. Di qui proseguendo il lor cammino, incontreranno di nuovo la superficie concava dell'ellissoide; saranno però ripiegati un'altra volta, e respinti come se partissero dal secondo foco: quindi si rincroceranno al primo foco, e così di sèguito.

2ª *I raggi inviati su di una paraboloide da un punto lucido collocato al foco di essa, nella riflessione divengono tutti*

paralleli all'asse della medesima; *e viceversa i raggi paralleli all'asse di una paraboloide, nel riflettersi da questa, si incrocicchiano tutti nel suo foco* [1].

Fig. 22.

Dimostrazione. Conciossiachè fig: 22.) tutte le rette (FM, FN), che partono dal foco di una paraboloide, se giunte alla superficie di questa si ripieghino secondo la legge della riflessione, procedono (come dimostrasi in Geometria) tutte (ML, NL′) parallele all'asse (AX) della paraboloide: e viceversa. Ma i raggi di luce (9.) si ripiegano sulla paraboloide appunto con questa legge. Dunque ecc.

13. Leggi fondamentali degli specchi sferici. —

I. DEFINIZIONI. 1ª Per *specchio sferico* s'intende comunemente non già una sfera completa, ma una sezione, porzione (fig. 24.), o fornice (SAP, oppure S′A′P′) di sfera solida brunita.

2ª Se questo fornice di sfera sia brunito internamente (in SAP), lo specchio si chiama *concavo*; se esternamente (in S′A′P′) si domanda *convesso*.

Fig. 23.

[1] La ragione principale, per cui la luce diminuisce d'intensità colla distanza dalla sorgente, non è solo la imperfezione di diafanità del mezzo, esempigrazia dell'aria, ma più la divergenza dei raggi. Ond'è che gli specchi paraboloidali, per la proprietà loro (annunciata nella *proposizione seconda*), riescono opportuni per eliminare questa ragione d'affievolimento della luce. Egli è perciò che i lampioni delle carrozze, e della macchina locomotiva per le strade ferrate, sono muniti di riflettori parabolici. Inoltre (fig. 23.) tagliando due specchi (MABN, PABQ) paraboloidali con un piano passante pel loro foco (F), e riunendoli per le loro intersezioni, in guisa che i loro fochi coincidano; si ottiene un sistema di riflettori, col quale un solo fanale può illuminare assai vivacemente un lungo corridore in due direzioni opposte.

3° Il vertice (A od A') del fornice si denomina *centro dello specchio*.

4° Il centro (C) della sfera, a cui appartiene lo specchio, è chiamato *centro di curvatura*.

5° Qualunque (LL', QO, HK) retta passi pel centro di curvatura (C), e vada allo specchio, è detta *asse*.

6° Se l'asse (come LA, L'A') va al centro dello specchio, dicesi *principale*; se no (come accade di HK, ed OQ), viene chiamato *secondario*.

7° L'angolo (SCP, S'CP') formato da due assi (CS, CP) che pervengono a due punti (S, P) diametralmente opposti dell'orlo dello specchio, o della circonferenza della sezione, si denomina *apertura* o *ampiezza dello specchio*.

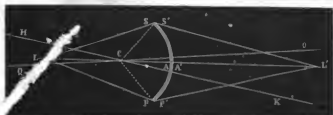



Fig.24.

II. PROPOSIZIONI. 1° *I raggi provenienti dal centro di curvatura di uno specchio sferico concavo, nel riflettersi, si rincontrano tutti al centro medesimo.*

Dimostrazione. Infatti, essendo nullo l'angolo d'incidenza di questi raggi, nullo dev'essere (❾.) parimenti quello di riflessione. E però ciascun raggio riflesso batte la stessa via da lui percórsa nell'incidenza: ritorna dunque al centro, donde partì.

2° *I raggi provenienti da un punto lucido collocato a distanza immensa, e riflessi da uno specchio concavo di pochi gradi, si riuniscono tutti sull'asse che passa pel detto punto, e precisamente alla metà del raggio geometrico della sfera.*

Dimostrazione. Poichè i raggi costituenti un fascetto, il cui vertice sia a distanza immensa, debbono essere *sensibilmente* paralleli fra loro; potranno essere rappresentati dalle

rette HB, GD (fig.25.); e l'asse (LA) dello specchio, parallelo a queste rette, passerà pel punto lucido (L). Per lo che a dimostrare la legge si prenda a considerare uno qualunque HB di questi raggi lucidi paralleli. Si conduca il raggio geometrico CB, e si faccia l'angolo CBR uguale a CBH; la retta BR rappresenterà il raggio riflesso. Si avverta ora che i due angoli CBH, e BCA sono uguali, perchè alterni. Dunque anche CBR sarà uguale ad BCA; e però il triangolo CBF è isoscele, ossia CF è uguale a FB. Ma poichè lo specchio si suppone di pochi gradi (cioè di 3°, o 4°) è chiaro che, se fatto centro in F coll' apertura AF si conduca un arco, questo *sensibilmente* si confonderà con MN. Allora dunque BF ed AF sono *sensibilmente* uguali, come raggi del medesimo cerchio *fisico*. Per conseguenza CF, che è uguale a BF, sarà pure (in tale ipotesi) uguale ad AF; ossia il raggio

Fig.25.

riflesso trapassa l' asse (AL) alla metà (F) del raggio (AC) geometrico. Ora questo ragionamento può replicarsi per qualsivoglia altro raggio incidente, esempigrazia GD. Dunque ecc.

3ª *Le prolungazioni geometriche dei raggi lucidi riflessi da uno specchio convesso, e provenienti da un punto lucido collocato a distanza immensa, s' incontrano tutte sull' asse che passa pel punto lucido, ed a metà del raggio geometrico della sfera, a cui appartiene lo specchio.*

Dimostrazione. Uno SI (fig. 26.) dei raggi paralleli incidenti sullo specchio XY si prolunghi in ID; si conduca il raggio geometrico IC, e si prolunghi in IP; ed in fine sul punto I della IS si costituisca l' angolo PIM uguale all'angolo PIS, e la MI si prolunghi, dietro lo specchio, secondo la IR. Questa prolungazione trapassa l'asse LC nel punto

F sensibilmente medio fra C ed A. Imperciocchè gli angoli PIS ed ICL sono uguali, perchè sono l'esterno ed interno dalla medesima parte; inoltre lo stesso PIS è uguale a PIM, e però anche a CIF opposto al vertice di quest' ultimo PIM. Dunque ICL, e CIF sono uguali fra loro; ed il triangolo CFI è isoscele; cioè IF è uguale a CF. Ma IF è anche *sensibilmente* uguale ad AF; perchè nell'ipotesi di uno specchio di piccola apertura l'arco IE, avente a centro il punto F, si confonde fisicamente con quello XY, che à il suo centro in C. È dunque F punto medio fra A e C. Ora questo ragionamento può sempre ripetersi per qualunque altro raggio TK, S'E. Dunque ecc.

III. COROLLARII. 1° Dunque i raggi provenienti dal punto medio del raggio geometrico, coincidente coll'asse principale

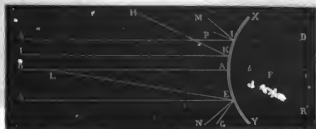



Fig.26.

di uno specchio sferico concavo di piccola apertura, nel riflettersi procedono tutti paralleli fra loro. Dacchè è manifesto che, per l'eguaglianza degli angoli di incidenza e di riflessione, questo caso è perfettamente inverso a quello della proposizione seconda; e però l'andamento dei raggi riflessi in questo caso sarà precisamente quello dei raggi incidenti nel caso supposto nella detta proposizione.

2° Dunque i raggi provenienti da un punto lucido, collocato sulla superficie di uno specchio o concavo o convesso, sono per dritto coi rispondenti riflessi. Giacchè quanto più il punto lucido si approssima allo specchio, tanto divien più grande l'angolo di riflessione: e però questo alla distanza minima, o nulla, sarà massimo, ossia retto. Retto sarà dunque anche l'angolo che fanno i raggi riflessi coi raggi geometrici

dello specchio. La qual cosa evidentemente importa, che i raggi lucidi riflessi sieno altrettante prolungazioni degli incidenti.

14. Produzione delle imagini per mezzo degli specchi. — I. DEFINIZIONI. 1ª Il punto fisico, nel quale si rincontrano di nuovo tutti i raggi di un fascetto, quelli cioè che provengono da un punto solo, si denomina *foco*.

2ª Il foco dei raggi, che nell' incidenza furono paralleli, vien contraddistinto col nome di *foco principale*.

3ª La distanza del foco dalla superficie dello specchio vien detta *distanza focale*; e nel caso del foco principale chiamasi *distanza focale principale*.

4ª A distinguere il punto, in cui si rincontrano veramente i raggi lucidi, da quello in cui s' incrocicchiano le loro pro-

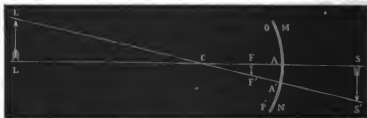



Fig. 27.

lungazioni geometriche, si dà nome di *foco reale* al primo, e di *foco virtuale* al secondo.

II. PROPOSIZIONE. *Per mezzo degli specchi sferici si ottengono le imagini degli oggetti, vuoi lontanissimi, vuoi prossimi, che ad essi inviano la luce.*

Dimostrazione della prima parte. Questa, la quale riguarda le imagini prodotte da oggetti collocati a distanza grandissima, divideremo per chiarezza in tre punti. I. Applicando ciò, che nel paragrafo antecedente è stato provato di un punto lucido, ai singoli punti costituenti il disco solare, o lunare, è manifesto che per mezzo di uno specchio si deve ottenere per ognuno di essi il suo foco e la sua imagine. Ora questi fochi (esistendo ciascuno su quell'asse, che è relativo al punto lucido, donde emanano i raggi che lo formano) debbono avere fra loro quella stessa disposizione, che

ànno i punti lucidi costituenti l'oggetto. Spieghiamoci meglio. MN (fig. 27.) rappresenti la sezione normale di uno specchio pulimentato in ambedue le facce, C ne sia il centro di curvatura, LS l'asse relativo al punto L, o S, ed L'S' quello relativo ad L', o S'. Il foco di L, o di S si formerà sulla LA in F, cioè alla metà del raggio geometrico, e quello di L' o di S' sulla L'A' parimenti alla metà del detto raggio cioè in F'. Ora gli assi, sui quali si costituiscono i fochi, s'incrocicchiano tutti al centro C di curvatura, e però sono disposti fra loro come i punti lucidi; e per la somiglianza dei triangoli LCL', SCS', FCF', i fochi medesimi ànno una disposizione relativa simile in tutto a quella dei detti punti lucidi. II. Il foco di un punto più vivido sarà più intenso, e meno intenso quello di un punto meno brillante, o di una macchia vuoi solare, vuoi lunare; essendo il primo costituito da un maggior numero di raggi lucidi, e da un minore il secondo. III. Finalmente, ove si trattasse di un oggetto variopinto, ai punti bianchi di esso risponderanno fochi bianchi nell'imagine, ai punti rossi fochi rossi, gialli ai gialli, e via dicendo; perchè i fochi sono formati dai raggi lucidi che provengono dai punti splendenti dell'oggetto, ed i raggi medesimi non si alterano in colorazione (s. I.) sullo specchio. Si avrà dunque dell'oggetto un'imagine la più fedele e quanto alla figura dei contorni, e quanto alla distribuzione dei chiaroscuri, e quanto alla colorazione. La differenza, che trovasi fra oggetto LL', SS', ed imagine FF', sta in questo che l'imagine non è sempre grande come l'oggetto; forse è capovolta; e, quando trattasi di uno specchio convesso, è formata non dai raggi lucidi, ma dalle prolungazioni loro, ossia dai fochi virtuali.

Dimostrazione della seconda parte. Anche di un oggetto terrestre, collocato a breve distanza da uno specchio sia concavo sia convesso, si ottiene con questo l'imagine. Questa seconda parte della proposizione potrebbe dimostrarsi razionalmente, deducendola, come la prima, dalla legge fondamentale di Catottrica. Ma tale dimostrazione è fondata sopra considerazioni algebriche, le quali non possono aver luogo nella Fisica sperimentale, e però ricorreremo al fatto. Si collochi un oggetto lucido qualunque davanti ad uno spec-

chio o concavo o convesso di piccola apertura; e se ne otterrà l'imagine [1]. Cioè, se lo specchio sarà convesso, si vedrà dentr'esso l'apparenza dell'oggetto, come avviene cogli specchi piani: se poi sarà concavo; o l'oggetto rimarrà ad esso più prossimo del foco principale, e se ne avrà parimenti un'

1 Coll'Algebra si dimostra la seguente proposizione: *I raggi provenienti da un punto lucido, collocato a qualsivoglia distanza da uno specchio o concavo o convesso di piccola apertura, dopo essere stati riflessi da questo prendono un tale andamento, che o essi medesimi, o i loro prolungamenti geometrici si rincontrano tutti in un sol punto.*

Dimostrazione. KA (fig. 28.) rappresenti al solito lo specchio, C il centro di curvatura, L il punto lucido, ed AL l'asse relativo al detto punto L. Al punto I preso a piacere sullo specchio si mandi la retta LI, la quale indichi il raggio incidente, e, condotto il raggio geometrico CI, si faccia sul punto I l'angolo CIR = LIC. La retta IR rappresenterà il raggio riflesso, il quale traversa l'asse AL in un punto, che contrassegneremo per F. Poichè in ogni triangolo, un angolo esterno vale la somma dei due interni opposti, e però ciascun interno è uguale alla differenza fra l'esterno opposto, e l'altro interno; così nel triangolo CFI l'angolo CIF = AFI — ICA; e nel triangolo CLI, sarà CIL = ICA — ILA. Ma CIF, angolo di riflessione, è uguale a CIL, angolo di incidenza; vi sarà dunque uguaglianza anche fra i loro valori, ossia fra i secondi membri delle due soprascritte equazioni. Perciò potremo stabilire AFI — ICA = ICA — ILA; ed AFI = 2ICA — ILA.

Si comprenderà facilmente che I. ad ognuno di questi angoli si può sostituire l'arco IA: II. essendo lo specchio di pochi gradi, l'arco si confonde *fisicamente* colla tangente trigonometrica: III. questa è esattamente uguale al seno diviso pel coseno: IV. nell'ipotesi di specchi di piccola apertura, il seno si confonde *fisicamente* colla misura lineare dell'arco IA, ed il coseno col raggio o AC, o AL, o AF del rispettivo circolo, a cui appartengono quei tre angoli. Poste le quali cose, l'ultima equazione si traduce nella seguente: $\frac{IA}{AF} = 2\frac{IA}{AC} - \frac{IA}{AL}$. Chiamando ora δ la AF, r la AC, e d la AL, e dividendo tutta l'equazione per IA, otterremo

$$\frac{1}{\delta} = \frac{2}{r} - \frac{1}{d}, \qquad (\alpha)$$

oppure $\frac{1}{\delta} = \frac{2d - r}{dr}$, e quindi anche

$$\delta = \frac{dr}{2d - r}. \qquad (\beta)$$

Dalla qual formola apparisce manifestamente che il valore di δ è in-

apparenza consimile a quella degli specchi piani; o l'oggetto sarà collocato ad una distanza maggiore della focale principale, e ponendo in un sito acconcio una lastra semitrasparente, si formerà su questa una pittura del tutto simile all'oggetto medesimo. Nel primo caso l'imagine è formata dai fochi virtuali, e merita anch'essa il nome di virtuale; nel secondo è costituita dall'insieme dei fochi reali, ed è reale

dipendente affatto dal valore dell'angolo di incidenza; anzi non dipende che dal valore di r e di d, quantità le quali sono le medesime per qualunque raggio appartenente ad uno stesso fascetto. Dunque allo stesso valore AF si giungerebbe col cercare ove il raggio riflesso, rispondente a qualunque altro raggio incidente LK,... incontri l'asse AL. Per conseguenza tutti i raggi provenienti da L e riflessi ecc.

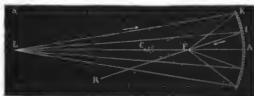



Fig. 28.

Se poi lo specchio fosse convesso, si avrebbe il medesimo risultato. L'unica differenza starebbe in ciò, che i raggi riflessi, essendo divergenti, non si incontrerebbero essi, ma le loro prolungazioni geometriche. Che debbano essere sempre divergenti si vede facilmente al solo riflettere che, se sono divergenti nel caso del parallelismo nella incidenza (come abbiamo stabilito nella proposizione terza del paragrafo 13), tanto più lo saranno quando rispondono a raggi incidenti divergenti, come sono sempre quelli, che provengono da un punto solo. Che poi debbano incontrarsi tutti sull'asse relativo, o in un unico punto, risulta dal considerare che, ricercando in questo caso il valore di δ o di AF, non si ottiene che, la stessa formola, colla sola variazione del segno di r; si ottiene cioè la formola stessa tradotta nella seguente

$$\delta = -\frac{dr}{2d+r}. \qquad (\gamma)$$

in guisa che δ non è in funzione che con r, e con d, e niente affatto coll'angolo di incidenza. Per lo che tutti i raggi di un medesimo fascetto, pei quali d à il medesimo valore, ed incidenti sullo specchio stesso, ossia pei quali r è costante, debbono riflettere in guisa, che le prolungazioni loro trapassino pel medesimo punto, cioè alla stessa distanza da A.

Digitized by Google

essa pure. In ogni conto, quello che si verifica di oggetti lontanissimi si ottiene ancora per tutti gli altri.

III. COROLLARIO. Dunque anche i raggi, provenienti da un punto lucido collocato a distanza limitata, si riuniscono o tendono a riunirsi tutti (cioè o essi o le prolungazioni loro) in un punto unico, vale a dire in un foco. Infatti le imagini, sia reali sia virtuali, non sono che la riunione dei fochi prodotti o dai raggi lucidi stessi, o dalle loro prolungazioni geometriche. Dunque la produzione delle imagini dimostra la produzione dei fochi.

15. Problemi intorno agli specchi sferici. — A risolvere i problemi che sogliono proporsi sulle immagini, le quali si ottengono per mezzo degli specchi sferici, è utile stabilire il significato di certe parole, ed alcuni criterii generali.

I. DEFINIZIONI. 1ª Per *sede* dell'immagine s'intende il sito, dove si forma tale imagine, e precisamente la distanza che corre fra il punto medio dell'immagine medesima e la superficie dello specchio.

2ª Per *natura* si vuole significare la realtà o la virtualità delle imagini.

3ª *Grandezza* indica la relazione, che passa fra le dimensioni dell'oggetto e quelle dell'imagine.

4ª Colla parola *giacitura* si esprime la positura delle imagini; cioè se esse sieno diritte o capovolte.

5ª Si dice *diritta* l'imagine, se la sua parte superiore rappresenta la parte superiore dell'oggetto; e *capovolta*, se avviene l'opposto. E perciò l'immagine di un oggetto sottovolto si dice diritta, se anch'essa sta sottosopra.

II. SCOLII. Per giudicare delle sopraddette cose bisogna regolarsi secondo alcuni generali criterii.

1° A determinare la sede [1] delle imagini prima si risolvono i principali problemi, i quali sono implicitamente contenuti nelle leggi che abbiamo già studiate; e poi quasi per in-

[1] La sede delle imagini può determinarsi esattamente, e in tutti i casi, col sostituire alla r ed alla d nelle formule (β) e (γ) i valori dati dalle condizioni dei problemi.

terpolazione si ritrova la soluzione di tutti gli altri. E però sempre si supporrà, anche senza dirlo, che lo specchio sia di piccola apertura: chè su questa ipotesi poggiano le sopraddette leggi.

2° A ritrovare la natura delle imagini, basterà decidere, se i raggi riflessi sieno convergenti o divergenti [1].

3° A pronunciare sulla grandezza si dovrà ricercare quali delle due cose, oggetto od imagine, disti più dal centro di curvatura. Giacchè (fig.29.) le due linee (LL',FF'), che misurano le grandezze dell'oggetto e dell'imagine, sono due rette parallele racchiuse fra i due assi (LF,L'F'), che partendo dai punti estremi dell' oggetto s'incrocicchiano al centro (C) di curvatura. Ora la relazione, che passa fra la lunghezza di due parallele racchiuse fra due rette concorrenti ad angolo, è (dalla Geometria elementare) quella stessa, che ritrovasi fra le loro distanze dal vertice dal detto angolo [2]. Dunque l'imagine

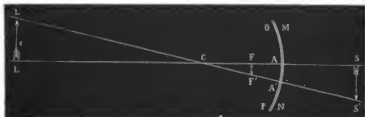



Fig. 29.

1 La natura si conosce anche dal segno di δ nella (β) o (γ).

2 Più chiaramente: le grandezze dell'oggetto, per esempio LL' (fig. 29.) oppure SS', e della imagine FF' sono le basi di due triangoli LCL' o SCS', ed FCF', evidentemente simili. E per conseguenza staranno fra loro come i lati LC, o SC, ed FC; vale a dire come le distanze loro dal centro di curvatura. Anzi quando vogliasi la grandezza assoluta dell' immagine, si parte dalla proporzione or ora accennata FF' : LL' :: FC : LC :: AC—AF : AL—AC: nella medesima FF' si chiama γ, LL' si esprime per g; e se ne ottiene $\gamma : g :: r-\delta : d-r$. Donde

$$\gamma = \frac{g\,(r-\delta)}{d-r}. \qquad (\delta)$$

La quale formula, sostituiti che sieno a g, d, r i valori dati, ed a δ il valore ritrovato per le formule (β) o (γ), dà il valore di γ.

sarà tanto più grande o più piccola dell' oggetto, quanto essa stessa dista più o meno di questo dal centro di curvatura dello specchio.

4° Finalmente a dar giudizio della giacitura è necessario vedere, se l' oggetto e l' imagine stieno dalla stessa parte del centro di curvatura, oppure uno di qua, e l' altra di là di esso centro. Nel primo caso l' imagine è diritta; nel secondo poi è capovolta: perchè in questo solo caso l' asse (LA), su cui si trova il punto inferiore dell' oggetto, là dove si forma l'imagine, à cangiato posizione verso l' altro (L'A'), cioè da sottoposto è passato ad essere sovrapposto, e viceversa.

II. PROBLEMI. 1° *Trovare la natura, la sede, la grandezza e la giacitura dell' imagine di un oggetto collocato dinanzi ad uno specchio concavo a distanza immensa.*

Risoluzione. I. La sede è a metà del raggio [1] (13. II. 2ª). II. La natura è reale (*ivi*). III. Quanto a giacitura, è capovolta: perchè oggetto ed imagine restano dalla stessa parte dello specchio, e quello dista dallo specchio stesso più del centro di curvatura, e questa ne dista meno. IV. Quanto a grandezza, l' imagine è immensamente più piccola dell' oggetto: perchè è immensamente più vicina al centro [2].

2° *Trovare le cose medesime per un oggetto posto al centro di curvatura di uno specchio concavo.*

Risoluzione. I. L'imagine è al centro stesso (13. II. 1ª) [3]. II. È reale (*ivi*) [4].

3° *Le cose medesime per un oggetto collocato alla distanza focale principale.*

Risoluzione. I. Distanza immensa; perchè questo caso è

1 Giacchè la formula (β), posto $d = \infty$, diventa $\delta = \frac{\infty\, r}{2\,\infty} = \frac{r}{2}$.

2 Infatti la (δ) diventa $\gamma = \frac{g\,(r - \delta)}{\infty} = 0$.

3 Giacchè posto $d = r$, la (β) si cangia in $\delta = \frac{r \times r}{2r - r} = \frac{r \times r}{r} = r$.

4 Quanto alle altre cose non può dirsi nulla, perchè mancano gli assi.

l'inverso del primo [1]. (13. III. 1°). II. Grandezza immensa [2]. III. Natura reale e virtuale: perchè i raggi riflessi sono paralleli; e però possono intendersi riuniti a distanza immensa tanto essi, quanto le prolungazioni loro. IV. La reale sarà diritta, la virtuale capovolta.

4° *Le cose medesime per un oggetto collocato alla superficie dello specchio.*

Risoluzione. I. Quanto a sede, i raggi incidenti essendo divergentissimi, ossia quasi per dritto uno coll' altro, tali conviene che sieno anche i riflessi (13. III. 2°), e però l'imagine deve stare alla superficie stessa dello specchio [3]. II. Virtuale: perchè i raggi riflessi sono divergenti. III. Diritta: perchè sta coll' oggetto dalla stessa parte del centro di curvatura. IV. Uguale all'oggetto: perchè ugualmente distante.

5° *Le cose stesse per un oggetto collocato a distanza limitata, maggiore per altro di un raggio.*

Risoluzione. I. Sede tra il centro di curvatura e la metà del raggio: perchè quando l'oggetto sta a distanza immensa, l'imagine sta a mezzo raggio, quando l'oggetto passa al centro di curvatura, l'imagine viene pure al centro stesso. Dunque, trovandosi l' oggetto in qualche sito fra la distanza immensa ed il centro di curvatura, l'imagine sarà collocata fra il mezzo raggio e il centro stesso. II. Sarà reale: perchè i raggi riflessi sono convergenti. III. Sarà capovolta: perchè non sta coll'oggetto dalla stessa parte del centro di curvatura. IV. Sarà più piccola sempre dell' oggetto: perchè dista dal centro di curvatura sempre meno di esso.

1 E poi $d = \frac{1}{2}$; e però $\delta = \frac{\frac{1}{2} r^2}{r - r} = \frac{\frac{1}{2} r^2}{o} = x$.

2 Inoltre $\gamma = \frac{g\,(\frac{1}{2} r - x\,)}{\frac{1}{2} r - r} = \frac{-x}{-\frac{1}{2} r} = x$.

3 In questo caso $d = 0$, però $\delta = \frac{0 \times r}{2 \times 0 - r} = 0$.

6° *Trovare le cose medesime, quando l'oggetto sta fra il centro di curvatura e la distanza focale principale.*

Risoluzione. I. Sede fra il centro di curvatura e la distanza immensa. Imperocchè, quando l'oggetto ritrovasi a distanza immensa, l'imagine si forma alla distanza focale principale; stando quello al centro, questa si fa pure al centro; dunque se l'oggetto sta fra quei due estremi, fra i detti suoi due estremi starà anche l'imagine. II. Reale: perchè i raggi riflessi sebbene convergano a molta distanza, pure convergono. III. Capovolta: perchè il centro è tra l'oggetto e l'imagine. IV. Più grande dell'oggetto: perchè dista più di esso dal centro.

7° *Le cose stesse per un oggetto posto fra la distanza focale principale, e la superficie dello specchio.*

Risoluzione I. Sede fra la distanza immensa, e la superficie dello specchio: per la solita ragione, che l'imagine deve stare fra i due estremi rispondenti a quelli fra i quali si trova l'oggetto. II. Virtuale: perchè i raggi riflessi sono divergenti. Infatti a mano a mano che si viene accostando l'oggetto allo specchio i raggi riflessi si fanno sempre meno convergenti; cosicchè portato esso alla distanza focale principale si fanno paralleli. Dunque diminuendo la convergenza loro ancor più, si faranno divergenti. III. Diritta; perchè tanto l'oggetto quanto l'imagine stanno dalla parte dello specchio, IV. Sempre più grande dell'oggetto; perchè dista più di questo dal centro.

8° *Le cose medesime per un oggetto collocato a distanza immensa davanti ad uno specchio convesso.*

Risoluzione. I. Sappiamo già (**13.** II. 3°) che la sede è a metà del raggio. II. E che i raggi riflessi sono divergenti, e però l'imagine sarà virtuale. III. Dal che discende che sarà diritta; perchè sta dalla stessa parte del centro di curvatura coll'oggetto. IV. E sarà piccolissima; perchè immensamente meno distante.

9° *Le stesse cose quanto ad un oggetto posto a distanza limitata davanti ad uno specchio convesso.*

Risoluzione. I. L'imagine sarà sempre virtuale: perchè i raggi riflessi da questi specchi debbono essere sempre divergenti. Infatti, poichè sono divergenti nel caso del parallelismo degli incidenti, lo debbono essere tanto più nel fatto ordi-

nario della divergenza nell' incidenza. II. Starà fra la metà del raggio e la superficie dello specchio. Dacchè col portare l' oggetto da distanza immensa alla detta superficie, i raggi incidenti, (che in ciascun fascetto sono un cono avente a base lo specchio) debbono, coll' abbassarsi di questo cono, divenir sempre più divergenti; e però anche i riflessi si faranno sempre più divergenti, e l'imagine formata dalle prolungazioni loro si avvicinerà maggiormente allo specchio. III. Resterà diritta: perchè dalla stessa parte del centro di curvatura. IV. Sarà sempre più piccola dell' oggetto: perchè più vicina al centro di curvatura.

16. Catacaustiche. — I. SCOLIO. Tutto il ragionamento, tenuto fin qui intorno agli specchi sferici, poggiava sulla condizione della piccola loro apertura. Ond' è che se questa non si verifichi, non tutti i raggi emessi da un punto lucido e riflessi da un tale specchio si incontreranno in un medesimo punto fisico. Ciò non ostante, se i raggi incidenti si distribuiscano in tante corone, ognuna delle quali contenga tutti

Fig. 30.

quelli che sono costituiti sopra una medesima superficie conica, e che però fanno un angolo di incidenza del medesimo valore, si otterranno come tanti fuochi parziali. Or bene: la consecuzione di queste porzioni di fuochi o reali o virtuali (fig. 30.) forma una superficie lucida curva (come FM).

II. DEFINIZIONI. 1ª La superficie illustrata, per la estensione od espansione del foco in tanti come fochi parziali, si denomina *cataustica*, o *caustica per riflessione*.

2ª La cagione produttrice delle catacaustiche viene detta *aberrazione di sfericità*.

III. COROLLARIO. Le imagini ottenute con questa aberrazione non saranno nè nitide nè simili all' oggetto, ma confuse ed incurvate sulla caustica.

IV. Chi non avesse mai osservato verun fenomeno di riflessione non arriverebbe ad intendere, che noi, dinanzi ad una

lastra di metallo brunito, o di vetro rivestito dalla parte opposta con amalgama di stagno, potessimo vedere colà dentro noi stessi, la nostra fazione, le movenze, il colorito: nè che, col dare a quel vetro o metallo un'acconcia curvità, di noi medesimi e di ogni altro oggetto, si avesse a dipingere istantaneamente su di una tela il ritratto il più fedele e il più vivo. Milton ci dà un' idea dell' apparente ragionevolezza di tale incredulità, quando ne descrive la sorpresa di Eva, che per la prima volta ritrovasi alla riva di un limpido e tranquillo laghetto. Ah! quanto grave errore non è mai quello di coloro, che nelle opere, nei disegni, negli arcani della Provvidenza, invece di accogliere con riconoscenza e trasporto gli ammaestramenti di chi ricevè da Dio stesso la confidenza di una gran parte de' suoi secreti in un colla preziosissima dote dell'assoluta inerranza nel rammemorarli e nell'esporli, pretendono restringere la cerchia delle umane cognizioni a quelle poche cose, che arriviamo a vedere colla nostra corta ragione!

ARTICOLO III.

RIFRAZIONE DELLA LUCE.

17. Fatto fondamentale della rifrazione. — I. PROPOSIZIONE. *Ogni raggio lucido, nel passare obliquamente da una sostanza diafana ad un' altra più densa, cangia direzione, allontanandosi dalla superficie di questa.*

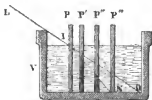



Fig.31.

Dimostrazione. Si faccia entrare in una camera oscura per un forellino (fig. 31.) un fascetto di luce (LI), e si dispongano le cose in guisa, che esso si introduca in un vase (V) rasentandone la parete opaca (V). Si vedrà il dischetto di luce (in O) sulla prolungazione del raggio (LI). Ma se si versi dell' acqua nel vase, subito il disco si trasloca (in N) approssimandosi alla detta parete. A conoscere l' andamento

del fascetto nell' acqua, si faccia passare una lastra opaca (P) dalla detta parete (V) fino all' opposta (O), tenendola sempre verticale; e ad ogni passo (P,P′,P′′,...) di questa lastra si segni su di essa il sito dell' illuminazione. Si vedrà che la luce percorre una linea retta (IN) anche nell' acqua; e che questa linea (IN) fa colla superficie del liquido un angolo maggiore di quello, che avrebbe fatto senza questa deviazione. Dunque il raggio si è ripiegato o spezzato nell'entrare nell' acqua, che è più densa dell' aria, e si è allontanato dal livello di questa. Lo stesso accade quando la luce entra nel vetro o in aria condensata, e perfino quando dal voto passa nell' aria o nel radissimo idrogene. Che se il raggio fosse caduto perpendicolarmente sul livello dell' acqua o sulla superficie del vetro non sarebbe accaduto spezzamento veruno.

Fig. 32.

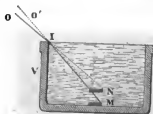
II. DEFINIZIONI. 1ª Il fatto ora descritto dicesi *rifrazione*.

2ª Le sostanze diafane (o anche il voto) per le quali trapassa la luce, si dicono *mezzi*.

3ª La superficie di separazione dei due mezzi, che sono traversati dalla luce, si chiama *piano* o *superficie dirimente*.

4ª Quello dei due mezzi si denomina *più rifrangente* di un altro, nel quale la luce si allontana dal piano dirimente.

5ª Il trattato in cui si studia la rifrazione dicesi *Diottrica*.

III. SCOLII. 1° Proviene dalla rifrazione che (fig. 32.) una moneta (M), posta in un vaso vuoto, e non veduta da chi trovasi (in O) tanto in basso da non arrivare a scorgere il fondo del vase medesimo, principii a vedersi, anzi sembri successivamente sollevarsi col fondo in N, quando si venga mescendo acqua nel vase stesso. Dacchè i raggi di luce più bassi, ossia i primi non impediti dalla parete (V), procedeano dapprima rettilineamente (secondo la MIO′), ma dopo rifrangendosi (in I), prendono una via (MIO) più bassa. Di che la moneta è riferita nella prolungazione (IN) dei raggi (OI) entranti nell' occhio (ossia in N).

2° Per la stessa ragione un bastone tuffato obliquamente nell'acqua sembra spezzato al livello del liquido. Poichè accade della sua parte immersa ciò, che avviene della moneta; e così i singoli suoi punti sembrano sollevati, e tanto più sollevati, quanto sono più distanti dal livello dell'acqua.

3° Anche la luce degli astri, che non trovansi allo zenit viene rifratta dall'atmosfera. Anzi, aumentando la densità dell'aria gradatamente di alto in basso (**61**), la luce percorrerà dentr'essa (ripiegandosi sempre più verso il centro) una curva, la cui concavità riguarderà la Terra medesima. Quindi (fig. 33.) un astro (S) sembrerà sempre più alto, (in S'), e tanto più alto di quello che sia in realtà, quanto esso è più prossimo all'orizzonte: e però ogni astro ed anche il Sole si vede nascere prima del tempo, e tramontare dopo. Da ciò deriva che talora si vegga ecclissare la Luna, quando il Sole è ancora sull'orizzonte; e che qualche sera, al cospergersi l'aria di vapori, si osservi il Sole quasi risorgente là dove si occultò.

Fig. 33.

IV. COROLLARIO. La diversità dei mezzi, per quello che riguarda la rifrazione, non si desume già dalla loro diversa natura chimica, ma sì dalla varia loro densità. Giacchè (come abbiamo veduto) di *regola generale* il mezzo più rifrangente è il più denso, ancorchè sia costituito dalla sostanza stessa. Diciamo di regola generale; perchè v'è qualche caso, come sarebbe quello dell'idrogene; in cui il mezzo più raro è più rifrangente del più denso.

18. Legge fondamentale di Diottrica. —

I. DEFINIZIONI. 1° Il raggio di luce che si trova nel primo dei due mezzi, cui esso traversa, dicesi *raggio incidente*.

2° Chiamasi *raggio rifratto* quello, che si ritrova nel secondo dei due mezzi trapassati dalla luce.

3° *L'angolo d'incidenza* è quello formato dal raggio incidente con una normale al piano dirimente.

4ª *L'angolo di rifrazione* è quello formato dal raggio rifratto colla normale sopraddetta.

5ª I piani, nei quali giacciono i detti due angoli, diconsi rispettivamente *piano d'incidenza, e piano di rifrazione.*

6ª La relazione, che passa fra il seno dell'angolo di incidenza e il seno di quello di rifrazione, suole nominarsi *indice di rifrazione.*

7ª La proposizione, che passiamo a dimostrare, dal nome dello scopritore, è denominata *legge cartesiana.*

II. SCOLII. L'apparato per dimostrare la legge cartesiana è in sostanza quello stesso, per cui si dimostrò la legge fondamentale di Catottrica. Ma vi sono le seguenti variazioni. Invece dello specchio piano collocato al centro del circolo, si pone (fig.34.) un vaso (C) semicilindrico di vetro pieno di acqua in guisa, che il livello resti all'altezza del centro (I) del circolo stesso (DNQ). Inoltre sul diametro verticale (NO) possono scorrere parallelamente a sè stessi due regoli (P, Q) divisi a millimetri. E finalmente il braccio (IR), che porta il vetro smerigliato (R) è scorrevole nel terzo quadrante.

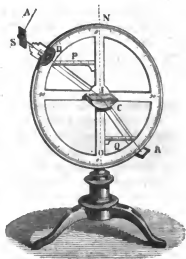



Fig. 34.

III. PROPOSIZIONE. *L'angolo di rifrazione e quello d'incidenza giacciono nel piano medesimo; e finchè si tratta degli stessi mezzi, l'indice di rifrazione è costante.*

Dimostrazione della prima parte. Si faccia in modo, che il fascetto incidente passi pel foro (D) del diaframma, e cada sull'acqua precisamente incontro al centro (I) del circolo graduato. Quindi il braccio, che porta il vetro smerigliato (R) si traslochi fino all'incontro del raggio rifratto. Con que-

sta disposizione si vede, che il raggio incidente ed il rifratto procedono parallelamente al circolo graduato. Ora questo, trovandosi in un piano verticale, è anche perpendicolare al livello dell'acqua. Dunque anche la retta (NO) normale al livello dell'acqua sarà parallela al circolo stesso. E però i due piani (di incidenza e di rifrazione) saranno paralleli al piano del circolo graduato. Ma di più essi ànno una retta comune. Dunque costituiscono un piano solo ortogonale al dirimente.

Dimostrazione della seconda parte. Si portino i due regoli o scale (P e Q) alla stessa distanza dal livello dell' acqua; e si traguardi a quali numeri delle loro divisioni corrispondano con tutta esattezza gli assi (ID, IR) dei due bracci metallici. Questi due numeri rappresentano i valori dei due seni, l'uno dell'incidenza, l'altro della rifrazione. Or bene: col variare dell'incidenza variano ambidue questi numeri, ma il loro quoto rimane costante [1].

19. Riflessione totale. — I. SCOLIO. La luce nel trapassare due dati mezzi prima in un senso, poi nell'opposto, per esempio prima dall'aria all'acqua, e poi dall'acqua all'aria, si rifrange (com'è naturalissimo) nella maniera medesima, ma in senso inverso; in guisa che l'indice di rifrazione si rovescia.

II. DEFINIZIONI. 1ª È chiaro che la luce può passare da un mezzo *meno* rifrangente ad uno *più* rifrangente, sotto qualunque angolo di incidenza, fosse pur di 90°. Ma l'angolo di rifrazione sarà in quest'ultimo caso il massimo; e suol chiamarsi *angolo limite* [2].

2ª Ove la luce trapassi da un mezzo *più* rifrangente ad uno *meno*, in modo che l'angolo di incidenza uguagli l'angolo limite; l'angolo di rifrazione che se ne ottiene (che varrà appunto 90°), ed il raggio stesso rifratto, prendono il soprannome di *rasenti*.

1 È stato ritrovato che, quando la luce trapassa dall'aria nel vetro, l'indice di rifrazione è presso a poco $\frac{3}{2}$, e precisamente $\frac{17}{11}$; quando dall'aria nell'acqua è $\frac{4}{3}$.

2 L'angolo limite del vetro è 40°, quello dell'acqua è 28°, 30'.

3°. Ma se in quest'ultimo caso l'angolo di incidenza superi l'angolo limite, quello di rifrazione dovrà essere maggiore di 90°. Il che equivale a dire che la luce non si introdurrà nel secondo mezzo, ma ritornerà indietro ripiegandosi nel mezzo medesimo, donde provenne. Il quale fenomeno suol appellarsi *riflessione totale*. *Riflessione*; perchè la luce torna nel mezzo stesso: *totale*; perchè non ne passa affatto nell'altro mezzo, nè è diffusa dal piano dirimente.

III. PROPOSIZIONE. *La riflessione totale segue la legge fondamentale di Catottrica.*

Dimostrazione. Risulta da tutti i fatti, che il raggio, il quale, invece di rifrangersi entrando nel secondo mezzo, rimbalza nel primo, non solo si trova nel medesimo piano col raggio incidente; ma invece di fare un angolo di riflessione grandissimo, ossia appena minore di 90°, lo fa uguale in tutto all'angolo di incidenza [1].

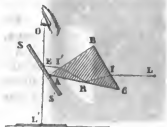



Fig. 35.

1 Si trae profitto dalla *riflessione totale*, per far deviare la luce, e spesso anche di 90°. A cagion d'esempio sarebbe assai incomodo guardare direttamente un astro allo zenit: ma, se invece la sua luce cada normalmente sul cateto di un prisma rettangolare, andrà ad incontrare l'ipotenusa sotto l'angolo d'incidenza di 45°, uscirà normalmente per l'altro cateto, e l'astro potrà essere veduto mirando orizzontalmente. Ma oltre ciò, questo fenomeno à dato occasione alla invenzione delle così dette *camere chiare*. Descriveremo la migliore, che è quella di Amici. Facciamo che ABC (fig. 35.) rappresenti un prisma rettangolare di vetro, L un punto lucido, SS' una lastra diafana di vetro perpendicolare ad un cateto (AB) del prisma, ed L' un punto segnato sopra una carta. I raggi, che da L vanno al prisma secondo LI, soffrono una rifrazione, per la quale si presentano ad AC sotto un angolo maggiore del limite; quindi da IR si ripiegano in RI' per riflessione totale; ed emergendo in I'E sono riflessi parzialmente dalla lastra diafana, e giungono all'occhio in O secondo la direzione EO. La diafanità della lastra non impedisce che nel tempo stesso si vegga anche il punto L', e l'apice di una matita che lo tocca. Sarà adunque possibile scorgere sulla carta l'imagine orizzontale di tutto un oggetto posto verticalmente, che secondo LI invia luce al prisma, e contemporaneamente tener d'occhio la matita, colla quale s'intende di ricopiarlo sulla carta medesima.

IV. COROLLARIO. Dunque un mezzo diafano potrà, per la sola disposizione delle sue facce, diventare opaco relativamente ad una determinata incidenza della luce. Dappoichè se (fig. 36.) un cilindro di vetro (CI) sia tagliato da una parte (C) normalmente all' asse suo, e dall' altra (I) a 45° coll'asse medesimo; un raggio di luce, che vi entri secondo l'asse (LI), cadrà sulla faccia (I) obliqua sotto un'angolo di incidenza (LIP) uguale a 45°, che pel vetro è maggiore dell'angolo limite: e però darà una riflessione totale (IR). Per la qual cosa, ricoprendo intorno intorno il cilindro stesso con una sostanza opaca, e dirigendo l'occhio verso la parte (I) obliqua, nessun raggio di luce entrerà nell'occhio; e quindi il cilindro medesimo apparirà opaco, ad onta che sia di tersissimo cristallo, ed una sua faccia (C) sia esposta ai vivi raggi del Sole.

Fig. 36.

20. Luce emergente da una lastra a facce piane e parallele. — I. DEFINIZIONI. 1ª Il raggio di luce, che, dopo essere passato da un mezzo ad un altro, esce da questo secondo mezzo, è detto *emergente*.

2ª L'angolo, che il raggio emergente fa con una retta normale alla faccia del mezzo rifrangente, dalla quale esce, si denomina *angolo di emergenza*.

II. PROPOSIZIONE. *Il raggio emergente da una lastra a facce piane e parallele è parallelo all' incidente.*

Dimostrazione. Sia MO (fig. 37.) una lastra di vetro così fatta. Essendo parallele le due facce di questa, evidentemente l'angolo di incidenza I I'N sulla seconda faccia dev'essere uguale a quello di rifrazione I'I P sulla prima: perchè questi due angoli sono alterni interni. Ma, quando la luce dal mezzo più denso ritorna nel primo mezzo meno denso, soffre (**19.** I.) la rifrazione inversa a quella che à luogo, quando da questo entra in quello. Dunque l'angolo di emergenza EI'N' dev' essere uguale a quello LIP d'incidenza prima. Ora ciascuno di questi due angoli, posto che le facce della lastra sieno (come si suppone) parallele, à un lato rispetti-

vamente parallelo; cioè IP è parallelo ad I'N'. Dunque anche gli altri due lati LI, ed I'E sono paralleli fra loro.

III. COROLLARIO. Dunque un oggetto, guardato a traverso di una lastra diafana a facce piane e parallele, potrà apparire spostato, ma non mai trasformato. Dacchè se tutti i raggi lucidi, trapassata che abbiamo una lastra sì fatta, procedono parallelamente alla direzione della loro incidenza, conservano evidentemente la stessa disposizione relativa, e perciò non possono produrre trasformazione veruna. Solo avverrà che, essendo la lastra molto grossa, e i raggi incidenti assai obliqui; gli emergenti terranno una via, parallela sì, ma diversa dagli incidenti: e l'oggetto apparirà in un sito (L') alquanto diverso da quello (L), in cui trovasi di fatto.

21. Andamento della luce emergente dai prismi.

I. DEFINIZIONI. 1ª Per *prisma* in Diottrica s'intende un mezzo diafano a facce piane, ma non parallele.

2ª L'angolo, che formano, o che tendono a formare le due facce, per le quali trapassa la luce, è detto *angolo di rifrangenza*.

Fig. 37.

3ª L'intersezione delle stesse facce, o il loro spigolo, à nome *vertice del prisma*.

4ª La faccia opposta al vertice si appella *base*.

5ª Vien denominata *sezione principale* ogni sezione del prisma normale al vertice.

II. PROPOSIZIONE. 1ª *Non vi à emergenza in un prisma, il cui angolo di rifrangenza non sia inferiore a due volte l'angolo limite.*

Dimostrazione. Rappresenti AVB (fig. 38.) la sezione principale di un prisma, il cui vertice sia V, e l'angolo di rifrangenza AVB valga il doppio dell'angolo limite. Dico che, qualunque sia l'andamento del raggio incidente LI, il raggio emergente I'E sarà rasente. A provarlo si supponga, che il raggio incidente LI faccia un angolo di incidenza LIN poco inferiore ad un retto. Questa ipotesi è la più favorevole al-

Digitized by Google

l'antitesi: perchè se il raggio incidente fosse L'I; cioè meno grande, il raggio rifratto non sarebbe più I I', ma IY; e così l'angolo di incidenza seconda verrebbe ad essere IYZ, che è evidentemente maggiore di I I'P': e perciò l'angolo di emergenza dovrebbe essere maggiore di E I'N'. Dalla fatta supposizione discende, che l'angolo di prima rifrazione PII' dovrà essere uguale all'angolo limite. Diviso pertanto a metà l'angolo AVB colla retta VD, l'angolo DIP riuscirà uguale ad IVD. Ma DIP aggiunto a DIV dà un angolo retto. Dunque anche IVD aggiunto allo stesso DIV formerà un angolo retto. Resta dunque che il terzo angolo IDV del triangolo stesso valga da sè solo l'altro retto. Per la qual cosa i due triangoli rettangoli VDI, e VDI', aventi un angolo uguale IVD, DVI', saranno simili; e però saranno uguali anche gli altri loro due angoli VID, e VI'D. Ma VID è il complemento della rifrazione, cioè dell'angolo limite DIP. Dunque anche VI'D sarà uguale al complemento dell'angolo limite; e però il complemento dello stesso VI'D, cioè DI'P', che è l'angolo d'incidenza seconda, sarà uguale all'angolo limite. A questo DI'P' risponderà quindi un'emergenza rasente. Ond'è che, se l'angolo di rifrangenza fosse maggiore del doppio dell'angolo limite, fosse cioè AVX; l'angolo d'incidenza seconda IHK (che è evidentemente maggiore di II'P') sarebbe maggiore dell'angolo limite; ed invece dell'emergenza si avrebbe la riflessione totale. C. D. D.

Fig. 38.

2ª *I raggi emergenti da un prisma più rifrangente del mezzo, in cui trovasi esso prisma, tendono a ripiegarsi verso la base del medesimo prisma.*

Dimostrazione. Imperocchè il raggio rifratto (II'), per esempio, nel vetro che è più rifrangente dell'aria, dee avvicinarsi alla normale (IP), ossia ripiegarsi verso la base; il raggio emergente (I'E) uscendo all'aria, che è meno rifran-

gente del vetro, dee allontanarsi dalla normale (I'N'), e però di nuovo abbassarsi verso la base del prisma. Ciò non prova, (nè si pretende) che sempre i raggi emergenti convergano di fatto verso la base del prisma; ma certamente sempre tendono a questo: perchè essi saranno almeno men divergenti dalla stessa base di quello, che erano nell'incidenza.

22. Nozioni preliminari sulle lenti.

I. DEFINIZIONI. 1ª Si dice *lente* un mezzo diafano a superficie curve; e più esattamente, un mezzo terminato da due superficie di rivoluzione, gli assi delle quali coincidono.

2ª Le lenti sono dette *sferiche*, o *cilindriche*, o *ellittiche*, o *paraboliche*, secondo la varia curvatura delle loro superficie. Quando si nomina *lente* senza più, si suppone sempre che la lente sia sferica.

3ª Fra le lenti si distinguono quelle chiamate *di convergenza* da quelle dette *di divergenza*: le prime sono ad orlo stretto, ossia ànno il contorno più fino del centro; le seconde all' opposto sono più fine al centro che all'orlo.

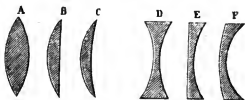



Fig. 39.

4ª Si chiama (fig. 39.) lente *biconvessa* o *convesso-convessa* quella (A), che può intendersi formata da due uguali sezioni di una sfera massiccia riunite per le basi circolari; e può dirsi la lente antonomasticamente, per la sua rassomiglianza a quella civaia o legume assai noto, donde tal nome è stato tratto.

5ª Col nome di *piano-convessa* s'intende quella (B), che è formata da un semplice fornice sferico.

6ª È chiamata *concavo-convessa*, o *menisco convergente* la lente (C), che può concepirsi formata dall' intersezione di due superficie sferiche, delle quali quella che produce la faccia concava è di maggior raggio dell'altra.

7ª Si denomina *biconcava*, o *concavo-concava* la lente (D),

che può idearsi nata dall'unire per le facce piane due uguali sezioni di una sfera concava.

8° Dicesi *piano-concava* quella (E) costituita da una sola delle sopraddette sezioni.

9° Vien denominata *convesso-concava* o *menisco divergente* la lente (F), che s' intende formata dall' unione di una sezione di sfera concava con una sezione di sfera convessa di maggior raggio della concava.

10° Si dicono *centri di curvatura* i centri delle sfere, a cui appartengono le superficie delle lenti.

11° Chiamasi *asse principale* di una lente la retta indefinita, che passa per i due centri di curvatura delle sue facce; e in una lente piano-concava o piano-convessa quella, che passa per l'unico centro di curvatura, ed è perpendicolare alla faccia piana.

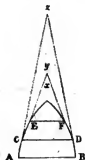



Fig. 40.

12° È detto *centro ottico*, in una lente biconcava o biconvessa a curvature uguali, il centro stesso di figura: nelle lenti piano-convesse, o piano-concave, il vertice della faccia curva: in un menisco, il punto d' incrocicchiamento dell' asse principale colla retta indefinita, che congiunge gli estremi di due raggi geometrici paralleli fra loro.

13° Ogni retta che trapassa pel centro ottico della lente, e non pei centri di curvatura, si domanda *asse secondario*.

14° È detta *apertura della lente* l' angolo formato dai due raggi geometrici, che vanno a due punti diametralmente opposti del suo orlo.

II. SCOLII. 1° Tutti i raggi lucidi, che trapassano pel centro ottico della lente sono esenti da rifrazione: mentre chi ben consideri la definizione del centro ottico di leggieri s'accorge, che ogni retta, la quale passa per tal centro, traversa le facce della lente in due porzioncelle, che riescono parallele fra loro.

2° Le lenti possono considerarsi come l' insieme di sotti-

lissimi prismi; altri (cioè nelle lenti di convergenza) a basi opposte, altri (ossia in quelle di divergenza) a vertici opposti. I. Ed in vero, se io imagino la sezione (fig. 40.) principale AzB di un prisma a piccolissimo angolo (z) di rifrangenza; e la suppongo tagliata parallelamente alla base (in CD); e quindi imagino che su questa (CD) sia posata la sezione principale (CyD) di un altro prisma a men piccolo angolo (y) di rifrangenza, e la suppongo parimente tagliata (in EF); se inoltre ne imagino una terza posata su quest' ultima (EF), e via dicendo; ottengo una figura piana (ACExFDB). Adesso si consideri fermo il lato (AB), che rappresenta la base del primo prisma, anzi questo lato si assuma quasi asse di rotazione, intorno a cui il vertice (x) si ravvolga di un' intera circonferenza; ne nascerà un solido, che è un embrione di lente, purchè le sezioni principali tagliate e sovrapposte sieno moltissime, i tagli sieno vicinissimi, e gli angoli di rifrangenza aumentino quasi insensibilmente. II. Parimenti se imagino la sezione (fig. 41.) principale (AzB) di un prisma triangolare tagliata a piccola distanza dalla base (in CD), e, sotto questa, la base di un' altra (CyD) tagliata ugualmente (in HK), e così di sèguito; e poi, tenendo fisso l' ultimo taglio (EF) quasi asse di rotazione, ravvolgo la figura in guisa che la base (AB) compia un' intera circonferenza cilindrica, ne nascerà un abbozzo di lente biconcava. Il quale diverrà veramente tale, se le sezioni principali che si sottopongono una all' altra sieno moltissime, vengano tagliate assai vicino alla base, e diversifichino pochissimo nell'angolo di rifrangenza.

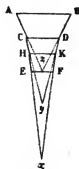



Fig. 41.

3° I raggi emergenti dalle lenti di convergenza tendono a convergere fra loro; tendono invece a divergere in quelle di divergenza. Infatti i raggi emergenti da un prisma tendono ad avviarsi verso la base. Ora una lente di convergenza è un insieme di prismi colle basi verso l' asse principale: dunque i raggi emergenti si spingeranno verso quest' asse, cioè tenderanno a convergere uno verso l' altro. Invece una lente

di divergenza è un insieme di prismi aventi le basi verso gli orli: dunque i raggi emergenti, avviandosi verso questi, divergeranno gli uni dagli altri. Ecco il perchè le lenti ad orlo largo sono chiamate *di divergenza*, *e di convergenza* son dette quelle, che terminano in un ciglio tagliente 1.

23. Fochi delle lenti. — I. SCOLIO. Quante volte qui si usano i vocaboli stessi che furono adoperati in Catottrica, (come sarebbe *foco*, e *imagine reale*) si attribuisce loro il significato medesimo, che colà (**14.**) ebbero.

II. PROPOSIZIONI. 1ª *I raggi lucidi provenienti da un punto collocato sull'asse principale, o su di un secondario poco inclinato verso il principale, e incidenti sopra una lente di piccola apertura, nell'emergere ànno un foco, e questo giace sull'asse medesimo* 2.

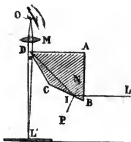



Fig. 42.

1 Su questa proprietà delle lenti biconvesse è fondata la prima *camera chiara*, che sia stata ideata; ed è quella proposta da Wollaston nel 1804. La luce LB (fig. 42.) dell'oggetto, che si vuole ricopiare, entra normalmente in un prisma ABCD a quattro facce; soffre una prima riflessione totale in I, una seconda in *o*, e giunge all'occhio O nella stessa direzione dei raggi L'D provenienti dalla punta L' della matita. Ma siccome l'imagine dell'oggetto è più lontana dall'occhio della carta L'; così viene opportuna la lente M per dare la stessa convergenza ai raggi che vengono dall'oggetto, e a quelli che partono dalla matita. Questo strumento esige che l'occhio sia tenuto vicinissimo all'orlo del prisma, ed in modo che la pupilla accolga metà dei raggi dell'oggetto, e metà di quelli della matita. Però è da preferirsi la *camera chiara di Amici*, che abbiamo già descritta.

2 Questa proposizione può dimostrarsi anche matematicamente. Indichi MM' (fig. 41.) un menisco convergente, che abbia il centro della faccia anteriore in C, e quello della posteriore in C'. L'asse principale sia LF, in L trovisi un punto lucido, ed LI sia uno dei raggi incidenti; ClP sarà la normale condotta al punto d'incidenza, ed IE il raggio rifratto, la cui prolungazione geometrica trapasserà l'asse principale in K. Ciò posto ricordiamoci che tra il seno dell'angolo di incidenza LIC e quello della rifrazione EIP=CIK, ed anche fra gli angoli stessi, quando sieno di pochi gradi (come debbono essere in una lente di piccola aper-

Dimostrazione. 1. Ove si esponga ai raggi solari, e in posizione non molto differente dalla normale ai medesimi, una lente biconvessa, dall'altra parte di questa si produce l'ima-

tura), vi è un rapporto costante, cui chiameremo n. Cioè $\frac{LIC}{CIK}=n$; e però $LIC=n\times CIK$. Ma $LIC=ACI-ALI$; e $CIK=ACI-AKI$, dunque $ACI-ALI=n\times ACI-n\times AKI$. Per la qual cosa potremo asserire che $-n\times AKI=ACI-ALI-n\times ACI=(1-n)\,ACI-ALI$. Ma tutti questi angoli sono uguali agli archi AI, questi archi sono uguali alle tangenti AI, e queste tangenti sono date dal seno AI diviso pei rispettivi coseni AK, AC, AL (**14**. II.). Dunque chiamando v la AK, r la AC, e d la AL, la superiore equazione si traduce nella seguente

$$-n\frac{1}{v}=(1-n)\frac{1}{r}-\frac{1}{d}. \qquad (\alpha)$$

Ora si conduca il raggio C'EN al punto di emergenza, e rappresentato

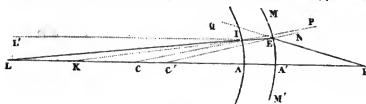



Fig. 43.

per EF il raggio emergente, si produca questo stesso in EQ: e poi si ragioni nella seguente maniera come sopra. $FEN=n\times KEC'$. Ma $FEN=C'EQ=A'FE+A'C'E$; $KEC'=A'C'E-A'KE$. Per conseguenza sostituendo avremo $A'FE+A'C'E=n\times A'C'E-n\times A'KE$; ed $n\times A'KE=n\times A'C'E-A'C'E-A'FE=(n-1)\,A'C'E-A'FE$, e quindi col solito metodo (14. *Nota*.) $n\times\frac{A'E}{A'K}=(n-1)\frac{A'E}{A'C'}-\frac{A'E}{A'F}$.

Ora trascurando AA', che si suppone brevissima, e dividendo per A'E, quest'ultima equazione si tramuterà in $n\times\frac{1}{AK}=(n-1)\frac{1}{AC'}-\frac{1}{AF}$.

Chiamisi ora r' la AC', e δ la AF, e riusciremo all'equazione

$$n\frac{1}{v}=(n-1)\frac{1}{r'}-\frac{1}{\delta}. \qquad (\beta)$$

Si sommi (α) con (β), e si otterrà $0=(1-n)\frac{1}{r}-\frac{1}{d}+(n-1)\frac{1}{r'}-\frac{1}{\delta}$,

Digitized by Google

gine risplendentissima e nitida del Sole ; come può vedersi sopra un vetro smerigliato , o sopra un corpo opaco. Ora ,

e però $\frac{1}{\delta} = (n-1)\frac{1}{r'} + (1-n)\frac{1}{r} - \frac{1}{d} = (n-1)\frac{1}{r'} - (n-1)\frac{1}{r} - \frac{1}{d}$, ed

$$\frac{1}{\delta} = (n-1)\left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r}\right) - \frac{1}{d}. \qquad (\gamma)$$

Ora in questa il valore di δ è affatto indipendente dal valore di qualsivoglia angolo, e trovasi in funzione coll'indice di rifrazione n, coi raggi di curvatura r, r', e colla distanza d del punto lucido. Però dee concludersi che, finchè si tratta dei medesimi mezzi, delle stesse curvature, e del medesimo punto lucido, tutti i raggi emergenti si rincontrano in uno stesso punto fisico F, ossia ànno un foco. La dimostrazione vale anche, come si vede a colpo d' occhio , per un punto lucido collocato su di un asse poco inclinato verso il principale. Dunque ecc.

Qui si avverta: 1° La formula stabilita (γ) vale per un menisco convergente; ma può tradursi a rappresentare altre lenti, purchè r od r', che nella detta lente sono positivi , ricevano nelle altre il segno che loro compete.

2° La quantità $n-1$ per aria e vetro è positiva. Infatti n in questo caso vale $\frac{3}{2}$. Ora $\frac{3}{2} - 1 = \frac{3}{2} - \frac{2}{2} = \frac{1}{2}$. Dunque $n = \frac{1}{2}$.

3° Di qui innanzi indicheremo con Δ la distanza focale principale.

4° Questa suppone il caso che $d = \infty$; in altri termini ; che nella formola (γ) sparisca il termine $\frac{1}{d}$ uguale ad $\frac{1}{\infty} = 0$. E però in genere

$$\frac{1}{\Delta} = (n-1) \times \left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r}\right). \qquad (\delta)$$

5° Seguiteremo a chiamare r il raggio della faccia, che resta dalla parte del punto lucido, ossia anteriore, ed r' quello della posteriore.

6° Ogni volta che il valore di Δ sarà positivo (come lo è nel caso esaminato superiormente, cioè nel menisco convergente) il fuoco è prodotto dal concorso reale dei raggi emergenti, e dee dirsi *reale*. Se poi Δ sarà negativo, il fuoco dovrà dirsi *virtuale*, perchè allora non si rincontrano i raggi, ma le loro prolungazioni.

Si avverta inoltre che la formula generale sopra dimostrata è la base per la soluzione di tutti i problemi, che possono essere proposti sulle lenti. Ma tale soluzione è regolata dai seguenti criterii generali. I. La sede dell'imagine è data dal valore di δ. II. La natura risulta dal segno della medesima δ. III. La giacitura segue la natura: perchè l'imagine , quando è reale, si forma sempre nella parte posteriore della lente, ossia dopo che gli assi si sono incrocicchiati ; e allora è capovolta : quando invece è virtuale si forma nella parte anteriore, ossia dal lato dell'og-

come sappiamo (**14.I.4ª II.**), le imagini reali sono prodotte dai fochi reali, disposti simmetricamente come i punti lucidi dell'oggetto; in altri termini; sarebbero impossibili queste imagini, se i raggi che provengono da un punto dell'oggetto non si riunissero tutti in un punto solo, o in un foco, e se ciascuno di questi fochi non esistesse precisamente su quell'asse, in cui trovasi il punto lucido, cui esso foco rappresenta. Inoltre la posizione, che conviene dare alla lente ad evitare che la forma dell'immagine non sia alterata o dissimile dall' oggetto , mostra che il fenomeno à luogo unicamente per quei punti lucidi, che non sono molto distanti dall'asse principale della lente medesima. Accade la cosa stessa, ove alla lente pervengano i raggi, che emanano da un oggetto collocato a discreta distanza dalla lente medesima. Dunque al-

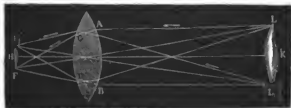



Fig. 44.

meno per le lenti di convergenza la tesi è vera. II. Ma è vera eziandio per le lenti di divergenza: basta riflettere alla loro forma perfettamente inversa a quella delle lenti di convergenza per restare convinti, che quelle debbono produrre fenomeni inversi. Sarà quindi l'imagine virtuale, come si vede traguardando con una lente di divergenza un oggetto posto non lungi dall' asse principale ; ma starà alla distanza di un raggio di curvatura, come la reale.

getto ; e allora gli assi non ànno ancora cangiato posizione relativa , e l' imagine è diritta. IV. La grandezza è proporzionale alla distanza dal centro ottico della lente. Infatti, poichè gli assi LF, L'F (fig.44.) incrociansi in questo centro O; la grandezza γ (cioè F F') dell' imagine deve stare a quella g (ossia LL') dell'oggetto, come la distanza OH, o δ della prima sia alla distanza d (vale a dire OK) del secondo. In breve;

$$\gamma : g :: \delta : d ; \text{ e } \gamma = \frac{g . \delta}{d}. \qquad (\varepsilon)$$

2ª *Il foco principale nelle lenti di convergenza è reale, ed in quelle di divergenza è virtuale.*

Dimostrazione. Se è vero quello che è stato dimostrato (**22.** II. 3°), che la luce emergente tende verso l'asse principale nelle lenti di convergenza, e verso l'orlo in quelle di divergenza, dev'essere anche vera l'enunciata proposizione. Dacchè i raggi che nell' incidenza sono paralleli, ove nell'emergenza si rivolgano verso l'asse, debbono divenir convergenti, e riunirsi essi medesimi: ove poi si scostino dall'asse stesso, procederanno divergenti fra loro, e si riuniranno le prolungazioni loro dalla stessa parte, in cui trovansi i raggi incidenti 1.

3ª *Di un oggetto collocato a distanza immensa, dinanzi a una lente vitrea biconvessa o biconcava di piccola apertura e curvità uguali, e su di assi poco inclinati verso il principale, si ottiene l'imagine alla distanza di un raggio* 2.

1 Anche questa proposizione può dimostrarsi colla Matematica, per ciascuna delle sei specie di lenti. I. Nella lente biconvessa il raggio r deve cangiare segno. Quindi $\frac{1}{\Delta}=(n-1)(\frac{1}{r'}-\frac{1}{-r})=(n-1)(\frac{1}{r'}+\frac{1}{r})$. E però $\Delta=+$. II. Nella piano-convessa cangia segno r, ed $r'=\infty$. Onde $\frac{1}{\Delta}=(n-1)(\frac{1}{\infty}+\frac{1}{r})=(n-1)\frac{1}{r}$, e $\Delta=+$. III. La concava-convessa è quella, da cui fu desunta la formola, è quella cioè, in cui $r>r'$, quindi $\frac{1}{r}>\frac{1}{r'}$; e $\Delta=+$. IV. Nella biconcava si deve cangiare il segno di r'. Però si avrà $\frac{1}{-r}-\frac{1}{r}=-\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}=-(\frac{1}{r'}+\frac{1}{r})$, ossia $\Delta=-$. V. La piano-concava à $r=\infty$, ed r' con segno cangiato: il che porta $-\frac{1}{r'}-\frac{1}{\infty}=\frac{1}{r'}$, vale a dire $\Delta=-$. VI. Nel menisco divergente nessuno dei due raggi dee cangiar segno, ma $r'>r$. Per conseguenza $\frac{1}{r'}<\frac{1}{r}$; ed in $\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}$ deve trionfare il segno della seconda frazione; cioè $\Delta=-$.

2 Nel caso della lente biconvessa, come fu detto nella nota antecedente, $\frac{1}{\Delta}=(n-1)(\frac{1}{r}+\frac{1}{r})$. Fatto dunque $r=r'$; e ricordando che,

Digitized by Google

Dimostrazione. Misurando con esattezza i raggi di curvatura di una lente di tal fatta, e la distanza (dal centro ottico di questa), a cui formasi l'imagine del Sole o di una stella, si vede che tale distanza è uguale al raggio di curvatura delle due facce della lente. Questo raggio dunque misura la distanza focale principale.

4ª *Ponendo un oggetto a due distanze focali principali da una lente di vetro biconvessa ad uguali curvità, se ne ottiene l'imagine reale parimenti a due distanze focali principali* 1.

Dimostrazione. Risulta da un fatto analogo all'antecedente.

III. COROLLARII. 1º Dunque l'imagine di un oggetto immensamente distante, ottenuta con una lente di convergenza è reale e capovolta. È reale: perchè formata da fuochi reali, come si è provato (II.2ª). È poi capovolta: perchè tale è la giacitura delle imagini reali. Dacchè queste formansi nella parte posteriore della lente; là cioè dove gli assi, dopo essersi incrocicchiati al centro ottico della lente, procedono in senso inverso, cioè rovesciati.

2ª Dunque l'imagine di un oggetto immensamente distante, ottenuta con una lente di divergenza, è virtuale e diritta. Poichè sono virtuali i fochi (II.3ª), e la virtualità dell'imagine

nel caso di aria e vetro, $n-1=\frac{1}{2}$, avremo $\frac{1}{\Delta}=\frac{1}{2}\left(\frac{2}{r}\right)=\frac{1}{r}$. E però $\Delta=r$. Nel caso poi della lente biconcava, come in detta nota si mostrò, $\frac{1}{\Delta}=-(n-1)\left(\frac{1}{r'}+\frac{1}{r}\right)$. Dunque se $r-r'$, $\frac{1}{\Delta}=-\frac{1}{2}\left(\frac{2}{r}\right)=-\frac{1}{r}$; e però $\Delta=-r$.

1 Delle cose sopraddette apparisce, che nella formola generale ad $(n-1)\left(\frac{1}{r'}-\frac{1}{r}\right)$ può sostituirsi $\frac{1}{\Delta}$; e per una lente ugualmente convessa nelle due facce può porsi r invece di Δ. Nel caso presente $d=2\Delta$: dunque sostituito $2\Delta=2r$ alla d, otterremo invece l'equazione $\frac{1}{\delta}=\frac{1}{\Delta}-\frac{1}{2\Delta}=\frac{2-1}{2\Delta}=\frac{1}{2\Delta}$. E però $\delta=2\Delta$, ed anche $\delta=2r$. Quindi sempre l'imagine dista quanto l'oggetto, e se $r=r'$, dista $2r$: in grandezza sarà uguale; sarà reale, e capovolta.

importa che questa ritrovisi dalla parte dell' oggetto , ossia fra gli assi non ancora incrociatisi.

3° Dunque l'imagine di un oggetto lontanissimo esposto ad una lente, sarà immensamente più piccola dell'oggetto. Dacchè l'imagine, essendo racchiusa fra gli assi dei due fascetti, che provengono dai punti estremi dell'oggetto, avrà colla grandezza di questo quella relazione medesima, che esiste fra le distanze dal punto d'incrocicchiamento degli assi, cioè dal centro ottico della lente.

4° Dunque l' imagine di un oggetto, posto a due distanze focali principali dal centro ottico di una lente convessa di vetro, è grande come l'oggetto. Dacchè quella dista dalla lente quanto questo.

24. Problemi sulle imagini ottenute da una lente.

I. scolio. 1° La soluzione esatta e concreta di ogni caso è faccenda di Trigonometria ; e però qui ci limiteremo ad esporre le soluzioni dei casi più generali, dai quali possono, almeno per approssimazione, dedursi tutte le altre.

2° Di qui innanzi supporremo sempre, anche senza dirlo, che le lenti sieno di piccola apertura, e che all'oggetto rispondano assi poco inclinati verso il principale: perchè altrimenti non se ne otterrebbero quelle nitide imagini, che sono il soggetto dei seguenti problemi.

II. problemi. 1° *Trovare la sede, la natura, la giacitura, e la grandezza dell'imagine di un oggetto collocato alla distanza focale principale dinanzi ad una lente biconvessa.*

Risoluzione. È chiaro, che, ove l'oggetto prenda il posto occupato dall'imagine quando esso stava a distanza immensa, dovrà questa mettersi al posto di quello. E però I. avrà la sede a distanza immensa; II. grandezza indefinita; III. natura reale da una parte, e virtuale dall'altra; IV. starà diritta dove è virtuale, e capovolta dove è reale [1].

2° *Si domandano le cose stesse per un oggetto posto a*

[1] In tal caso $d = \Delta$; onde $\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\Delta} = 0$; e però $\delta = \frac{1}{0} = \pm \infty$. Inoltre $\gamma = \frac{g \times \infty}{\Delta} = \infty$.

distanza limitata, maggiore per altro di due distanze focali principali.

Risoluzione. I. Sede fra *una*, e *due* distanze focali principali. Dacchè è ad *una*, quando l'oggetto trovasi a distanza immensa; è a *due* (23. II. 4°), quando l'oggetto sta parimente a due distanze focali principali. Dunque quando questo occupa un sito intermedio, in un sito intermedio starà anche l'imagine. II. L'imagine sarà più piccola dell'oggetto: perchè, quando questo fa passi grandissimi per recarsi da distanza immensa a due focali principali, quello fa passi brevissimi per trasportarsi da una a due delle dette distanze. III. Sarà reale. IV. Capovolta.

3° *Le cose stesse per un oggetto posto a distanza minore di due focali principali, e maggiore di una.*

Risoluzione. Questo caso è l'inverso dell'antecedente. Per la qual cosa I. sede fra due distanze focali principali, e la distanza immensa; II. imagine più grande dell'oggetto, III. reale, IV. capovolta.

4° *Si fanno le medesime domande per un oggetto posto a minor distanza della focale principale.*

Risoluzione. Si principii dall'avvertire, che coll'avvicinare l'oggetto si è venuta fin qui a diminuire sempre più la convergenza dei raggi emergenti; e però i fochi si sono sempre più allontanati. Imperocchè quando l'oggetto è a distanza immensa, la distanza dell'imagine è una focale principale; quando la distanza del primo è maggiore di due focali principali (2°), quella della seconda è maggiore di una e minore di due focali principali; quando l'oggetto sta a due focali principali, anche l'imagine si reca alla distanza medesima (23. II. 4°); quando l'oggetto dista meno di due focali principali, l'imagine dista più (3°); quando finalmente l'oggetto giunge alla distanza focale principale, l'imagine si trasporta a distanza immensa (1°). Dunque avvicinando ancor più l'oggetto, i raggi che aveano diminuito la loro convergenza al segno da divenir paralleli, si faranno anche meno convergenti, ossia diverranno divergenti. E tanto più divergenti, quanto l'oggetto sarà maggiormente approssimato. Dunque I. l'imagine sarà virtuale: e però II. sarà diritta; III. disterà

più dell' oggetto, ossia da distanza immensa verrà fino alla lente, quando l'oggetto dalla distanza focale principale viene parimente sino alla lente; IV. e sarà sempre più grande dell'oggetto medesimo [1].

5° *Le cose medesime per un oggetto collocato a distanza limitata da una lente di divergenza.*

Risoluzione. Si vede chiaro che quanto più l'oggetto verrà approssimato alla lente, tanto più divergenti diverranno i raggi incidenti, ed anche gli emergenti; e che però l'imagine, prodotta dalle prolungazioni di questi raggi sempre più divergenti, dovrà accostarsi vie maggiormente alla lente. Di maniera che, ove l'oggetto sia recato alla superficie della lente, i raggi incidenti si collocheranno per dritto fra loro, e gli emergenti faranno altrettanto [2]. Ne consegue che l'imagine I. avrà la sua sede tra la distanza focale principale e il centro ottico; II. sarà più piccola dell'oggetto; III. sarà virtuale; e IV. diritta.

III. ALTRI SCOLII. 1° Il secondo problema dà ragione delle imagini, che si ottengono per mezzo di una camera ottica scura a largo foro. Gian Battista Dellaporta napolitano, tre secoli fa, dapprima faceva le sperienze della luce, delle quali abbiamo già parlato (§.I.), in una sala o camera tenuta all'oscuro, ed aperta per un sottilissimo foro ad un solo fascetto lucido. Ma poi, a rendere queste sperienze più universali, alla camera sostituì una cassetta a pareti opache; ed in fine pensò di allargarne il foro, affinchè potesse introdurvisi un maggior numero di raggi, e quindi le imagini riuscissero più splen-

1 E di vero posto $d = \frac{1}{2}\Delta$, sarà $\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\frac{1}{2}\Delta} = \frac{1}{\Delta} - \frac{2}{\Delta} = -\frac{1}{\Delta}$. Onde $\delta = -\Delta$. Nel caso medesimo poi $\gamma = \frac{g \times \Delta}{\frac{1}{2}\Delta} = 2g$.

2 Fatto $d = 0$, sarà $\frac{1}{\delta} = -\left(\frac{1}{\Delta} + \frac{1}{0}\right) = -\left(\frac{1}{\Delta} + \infty\right) = -\infty$. Ond'è che $\delta = -\frac{1}{\infty} = 0$.

denti. E poichè ciò era a discapito della nitidezza, perchè ogni fascetto non dipingeva il punto donde emanava, ma una superficie più ampia del detto foro, adattò a questo (fig.45.) una lente (A) di convergenza, per la quale i raggi di ciascun fascetto venissero di nuovo a riunirsi in un punto solo, ossia in un foco. A questo modo ottengonsi imagini assai precise e visibilissime (E). Affinchè poi queste possano vedersi anche fuori della cassetta, la parete opposta al foro suole formarsi con una lastra smerigliata (E) di vetro. Inoltre, poichè la sede della imagine dee variare (da una a due di-

Fig.45.

stanze focali principali) quante volte varia la distanza dell' oggetto; così il sopraddetto vetro semitrasparente suole costituire come il fondo (E) di una seconda cassetta (B) aperta dinanzi, e fatta in guisa da potersi, come un tubo da canocchiale, introdurre più o meno nell' altra (C), che porta la lente. Anzi per ottenere una maggiore precisione, il tubo (A) della lente può allungarsi o accorciarsi, per mezzo di un rocchetto (G), che è fisso sulla sua metà immobile, e si addentella in una specie di sega costituita sull'altra metà mobile [1].

[1] Quando al vetro smerigliato verticale si sostituisca uno specchio obliquo di 45° verso l'orizzonte, oppure un prisma triangolare ad angolo retto per proiettare le imagini sulla parete superiore della cassetta, e questa parete sia costituita da un vetro smerigliato, la camera oscura

2° Sul terzo problema poggia la spiegazione del *microscopio solare*; inventato da Leiberkuyn a Berlino nel 1743,

riesce assai comoda per ricopiare colla matita le prospettive. Ed a questo unicamente essa era utile fino a questi ultimi tempi: nè Dellaporta poteva prevedere, che la sua macchina avrebbe un giorno servito a far sì che la luce dipingesse in pochi momenti stabilmente da sè non solo le prospettive, ma perfino i ritratti e i gruppi vivi. Ed ecco come è stata fatta questa meravigliosa scoperta. Dacchè Scheele svedese nel 1770 ritrovò, che il cloruro d'argento si conserva bianco nell'oscurità ed annerisce all'azione della luce, varii si diedero a ricercare il modo di riprodurre su di una lastra ricoperta di questo sale l'imagine verace, ma fuggitiva della *camera oscura*. E veramente se al vetro smerigliato di questa si sostituisca una lastra d'argento, colla quale si sia fatto combinare il gasse cloro, le parti più chiare dell'imagine, che vi si produce, debbono scomporre prima il sale d'argento, e tingerlo in un grigio il più cupo; le parti poi rispondenti alle men chiare dell'oggetto assumeranno un grigio meno carico, e quelle che corrispondono alle parti nere rimarranno intatte e però bianche. Per la qual cosa, se l'azione della luce si arresti a tempo, ricuoprendo la lente, resterà sulla detta lastra la pittura a chiaroscuro degli oggetti opposti. Ma essa sarà *negativa*, come dicono, in quanto che i neri degli oggetti saranno bianchi nell'imagine, e viceversa; e quel che è peggio sarà instabile; perchè, riportandola alla luce, diverrà tutta scura ugualmente. Quindi gli studii furono rivolti a ricercare la maniera di fissare l'imagine ottenuta, ossia di renderla insensibile alla luce, e di tramutarla in *positiva*. Fra gli altri un certo Niepce, dopo molte prove con grande pazienza protratte dal 1814 al 1829, ottenne l'intento. Ma il suo metodo richiedendo più ore di esposizione alla luce, ne rendeva impossibile l'applicazione ai ritratti. Fu Daguerre che dopo altri 10 anni di ricerche, cioè nel 1839, tre anni dopo la morte di Niepce, annunciò il modo di ottenere le imagini in pochi minuti, e così nacque la *daguerrotipia*. Il suo metodo era il seguente. Prendeva una lastra di rame coperta da un'altra molto sottile di argento pulimentato a specchio, e vi faceva ascendere da una sottoposta cassettina i vapori di iodio: e così otteneva un ioduro d'argento violetto alterabile alla luce meglio anche del cloruro; e dopo averla tenuta esposta nella camera oscura alla imagine degli oggetti da ricopiarsi, ne la estraeva all'oscuro, e la esponeva in un'altra cassetta all'evaporazione dell'idrargiro portato a sopra 60°. I vapori di questo vanno allora a combinarsi colle parti di argento, sulle quali lo ioduro è stato decomposto per l'azione della luce, e vi si fermano dei globettini bianchi tanto più numerosi, quanto è più avanzata la decomposizione del sale d'argento; e così l'imagine è fissata. Allora lavando la lastra prima in una soluzione di iposolfito di soda, e poi coll'acqua stillata, si fa sparire il sale lasciato indecomposto. Le goccioline di idrargiro formano una superficie scabra, che diffonde la luce in ogni senso, e che

e perfezionato poi nella seguente forma. Supponiamo che (fig.46.) l'imposta (PQ) di una finestra, esposta ai raggi so-

è tanto più bianca, quanto esse son più numerose; all'incontro l'argento rimasto scoperto riflette regolarmente la luce in un solo senso, e in tutti gli altri apparisce nero: e però l'imagine è *positiva*. Fizeau propose di perfezionare il ritratto, essia di fissarlo anche meglio (altrimenti ogni stropicciatella lo cassa) e di dargli un tono anche più vivace, col versare sulla lastra già lavata una soluzione di cloruro d'oro, e riscaldarla fortemente, affinchè venga ad indorarsi coll'oro, che precipitando nella evaporazione vi aderisce. Un altro perfezionamento fu quello proposto da Claudet nel 1841, e consiste nel far prima ascendere sulla lastra i vapori di bromo, sostanza acceleratrice, e poi quelli di iodio: con che si ottenne di ridurre a pochi secondi l'esposizione alla luce.

Per togliere il disturbo, che reca alla vista la riflessione delle parti nere, e l'incomodo e dispendio delle lastre metalliche, Talbot tentò di ottenere le imagini sulla carta. Presto egli riuscì nell'intento, facendo prima la prova negativa, e poi ricavando la positiva coll'applicare alla prima una seconda carta preparata, esporre tutto alla luce, e così per l'azione di questa rendere scure le parti rispondenti alle chiare, ossia le diafane della negativa. Il suo metodo era incerto ed incomodo; ma nel 1847 fu perfezionato da Blanquart-Evrard. Seguendo tal metodo, si posa la carta sopra una soluzione di nitrato d'argento, e si stende per asciugarla; poi si tuffa in una soluzione di ioduro e di bromuro di potassio; con che si forma detto ioduro e del bromuro d'argento, e finalmente si fa asciugare, e si espone alla camera oscura. Volendo per altro accelerare in questa l'operazione, bisogna impiegare carta umida. Si comincia quindi dallo stendere sopra una lastra orizzontale uno strato di soluzione d'azotato d'argento, e d'acido acetico cristallizzabile, e su questo si posa la faccia preparata della carta, e vi si stringe per espellere il liquido; poi si copre con carta sugante, e si espone alla camera oscura. Ma il metodo di Evrard esige troppo lunga esposizione, e quest'ultimo è incomodo nei viaggi. È pertanto assai utile preparare una carta asciutta sensibilissima nel seguente modo. S'immerge la carta in una soluzione di 5 per 100 di ioduro di potassio con un mezzo litro di siero di latte filtrato, sbattuto con una chiara d'uovo, e poi di nuovo filtrato. La carta diseccata si può conservare quanto tempo si vuole nell'oscurità, e quando è ora di servirsene si passa all'aceto-azotato di argento, come sopra, si fa diseccare e si espone all'oggetto da ricopiare. Quando si estrae dalla camera oscura, l'imagine è invisibile: per farla apparire si posa la faccia preparata sopra uno strato di una soluzione satura d'acido gallico o meglio pirogallico. Questo prosegue la riduzione dei sali d'argento tanto più rapidamente, quanto essi sono stati più vivamente attaccati dalla luce. Quindi le parti chiare dell'oggetto sono oscure nella prova, e viceversa. Per fissare l'imagine, ossia renderla inalterabile alla luce, bisogna sciogliere i sali non ancora de-

lari, abbia un foco (HK), su cui possa adattarsi un tubo (T), il quale porti dalla parte del foro una lente di convergenza (R) destinata a ricevere un gran numero di raggi solari (IT), e radunarli su di una seconda lente (F), detta *focus*, posta all'altro estremo del tubo; che questa lente (F) sia capace di ristringere tutti i raggi da essa emergenti in un solo foco (posto tra M ed N); e che finalmente per dritto col detto

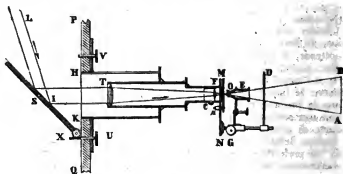



Fig. 46.

composti; e però si tuffa la carta in un bagno d'iposolfito di soda, o di bromuro di potassio; poi si lava e si asciuga. Se non che la carta, essendo fibrosa, non è adattata quanto le lastre metalliche alla riproduzione delle linee più fine; ed i contorni delle imagini rimangono un poco sfumati. E però si sono fatti molti studii per evitare tale difetto. Prima si propose di adoperare carta incerata: siccome per altro la cera impedisce che la carta s'imbeva dei liquidi, però le fu sostituita la gelatina. Ma la maggior finezza l'ottenne nel 1847 pel primo Niepce di Saint-Victor, nipote del sopra lodato, adoperando il vetro albuminato nella maniera che passiamo ad accennare. Si ricuopre la lastra di uno strato di liquido albuminoso, che è formato da chiara d'uovo sbattuta e mesciuta ad un centesimo di ioduro di potassio e un quarto d'acqua; e poi, quando questo strato è diseccato, la lastra si tuffa per un minuto in un bagno d'argento, contenente, per ogni cento parti d'acqua, 8 di nitrato d'argento, ed 8 d'acido acetico cristallizzabile. Più tardi la lastra si espone alla camera oscura per una ventina di minuti, e quindi vi si fa apparire l'imagine, coll'immergere la lastra in una dissoluzione d'acido gallico; e finalmente la si lava con acqua pura, e si fissa tenen-

tubo (T) se ne ritrovi un altro più ristretto, portante una terza lentina di convergenza (O), la quale abbia dal foco della seconda una distanza alquanto maggiore della focale principale. Se nel detto foco (in MN) si collochi sottosopra un piccolo oggetto semitrasparente, per esempio la larva di un insettino, la luce che con grande intensità colpisce l'oggetto medesimo, e prende la disposizione che avrebbe se provenisse da esso, arriva alla lentina, come nel caso del terzo problema. Per la qual cosa dovrà dare dell' oggetto stesso, sopra una tela od una parete opaca un' imagine sottovolta (e però diritta), tanto più grande, quanto l' oggetto dista più (tra i limiti di una a due distanze focali principali) dalla lentina medesima, e ciò non ostante molto illuminata, se le prime due lenti vi ànno raccolto sopra un numero sufficiente di raggi. Siccome per altro la luce solare non potrebbe avere la direzione dell'asse del tubo (il quale porta le lenti) che in un solo istante della giornata, e in questo stesso istante tal direzione sarebbe comunemente verso il basso, e però assai incomoda; così fuori della imposta si mette uno specchio (S) piano, che per mezzo o di un eliostata (**10.** IV. 4°) o di due viti (V, U) a mano, si gira in due sensi ortogonali fra loro in modo, che i raggi LI pro-

dola immersa nell' iposolfito di soda. Ma una lastra albuminata deve stare esposta alla luce troppo tempo: viene quindi opportuno il metodo celerissimo proposto nel 1851 da Archer in Inghilterra. Maynard di Boston aveá ottenuto una certa sostanza chiamata *collodio*, sciogliendo il cotone fulminante o il *pirossilo* nell'etere solforico. E questa sostanza appunto si pensò di far servire di veicolo per lo strato sensibile, adoperando nel seguente modo. Si prende una lastra di cristallo ben piana ed a facce parallele, vi si versa sopra del collodio liquido contenente una dissoluzione di ioduro di potassio, e poi allo scuro si tuffa in una soluzione di nitrato d'argento. In un minuto lo ioduro di potassio si trasforma in ioduro d' argento; allora la lastra si estrae, e quando è asciutta, si porta nella camera scura; dove lo ioduro soffre un principio di decomposizione; ma ancora l'imagine non è visibile. A renderla tale, conviene immergere la lastra medesima in una dissoluzione d'acido pirogallico con un poco d'acido acetico cristallizzabile. Con ciò nelle parti, nelle quali lo ioduro à subito un principio di decomposizione, si forma un gallato d'argento: ora questo è nero, e la negativa imagine apparisce. Affinchè dopo la luce non alteri le parti bianche, cioè ancora

venienti dal Sole sieno sempre riflessi secondo l'asse del tubo di questo microscopio 1.

ricoperte di ioduro d'argento, questo si porta via lavando la lastra nella soluzione d'iposolfito di soda.

Questa prova negativa serve a dare un gran numero di imagini positive o sopra vetro albuminato o sopra carta. A tale scopo si posa sulla detta lastra una carta imbevuta di cloruro d'argento, e tutte a due si stringono fra due lastre di vetro, e si espongono all' azione della luce. In questo modo le parti nere dell' imagine negativa lasciano in ombra la carta, e la luce non opera che sulle parti rispondenti alle chiare, e dà così un' imagine positiva. Questa poi si fissa lavando la carta nella dissoluzione d'iposolfito di soda: e finalmente si lascia qualche ora tuffata in un bagno di cloruro d' oro.

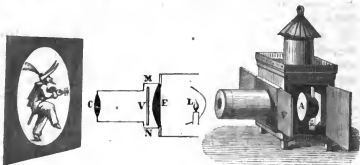



Fig. 47.

In questi ultimi anni si sono di molto perfezionati i metodi, e gli apparecchi. Si prendono le vedute sopra tela cerata, porcellana, ed altri corpi; si ottengono direttamente le prove positive; si fanno gruppi di decine di persone e leggende di più centinaia di lettere nell' estensione di un millimetro quadrato; si ingrandiscono al naturale le piccole prove negative; si è riprodotta l' imagine del Sole, della Luna, delle costellazioni ottenuta con un canocchiale astronomico; e Becquerel è giunto a fissare lo spettro solare con tutti i suoi colori sullo stesso strato sensibile; il soprannominato Niepce à riprodotto delle stampe o rami coloriti, sebbene queste imagini fotocromatiche non siensi ancora potute fissare; finalmente Crookes, stendendo sopra il bosso da incidersi uno strato impercettibile d' ossalato d' argento, e posandovi sopra la prova negativa, vi à impresso un disegno, che regge alla luce il tempo sufficiente per fare l' incisione, e così à dato origine alla Zilofotografia.

1 La invenzione di tal microscopio è stata preceduta da quella del non molto dissimile strumento chiamato *lanterna magica*; la quale fu inven-

3° Il *microscopio semplice* [1] non è che un'applicazione del quarto problema. Consiste esso in una lentina di conver-

tata qui in Roma nella seconda metà del secolo XVII dal padre Kirker gesuita. Facciamo che in una cassetta di latta (fig.47.) si ritrovi una fiamma L, posta al fuoco di uno specchio concavo (A), ed alla parete incontro allo specchio esista un foro (F), a cui possa adattarsi un tubo (CV); e che questo tubo porti sul detto foro una gran lente di convergenza. Facciamo inoltre che al foco principale (fra M ed N) di questa lente la cassetta medesima abbia un'asola per introdurvi una lastra (V) di vetro, su cui sieno delle pitture semitrasparenti; e che in fine all'altro estremo (C) porti un'altra lente, la quale disti dalla prima (F) più di una sua distanza focale principale. Avremo appunto la *lanterna magica*. Colla quale si ottiene, sopra una tela, l'imagine assai ingrandita delle pitture sopraddette, o di qualunque siasi oggetto semitrasparente stretto fra due lastrine di vetro (in MN). Infatti la luce della fiamma, resa parallela dallo specchio, imbatte prima sulla gran lente (F), e raccogliendosi al foco principale di questa, illumina fortemente l'oggetto (MN), e quindi si presenta alla seconda lente (C), come se provenisse dall'oggetto stesso. Ma poichè questo à dalla lente esterna (C) una distanza maggiore della focale principale; se ne dovrà ottenere a distanza anche grande l'imagine reale, capovolta, ed ingrandita. Alla qual distanza se si collochi un foglio di carta, o una tela semitrasparente, si avrà una pittura visibile per diffusione e per trasparenza.

A B

Fig. 48.

La *lanterna magica* prende nome di *fantasmagoria*, quando è posata sopra un carretto, allo scopo di avvicinarla o allontanarla dalla tela; e così ottenere un graduale impiccolimento o ingrandimento dell'imagine, che dia l'illusione di un vero allontanamento o avvicinamento dell'oggetto. Si intende già che il moto del carretto deve produrre anche un moto della lente (C), affinchè i raggi costituenti l'imagine abbiano costantemente i loro fuochi sulla tela. Questa modificazione fu proposta da Roberston in Francia nel 1798. Possono anche unirsi due fantasmagorie, e porre in esse due oggetti (in una, per esempio, un paesaggio a ciel sereno, nell'altra il paesaggio stesso a cielo nuvoloso) con tal disposizione, che le due imagini si formino nel medesimo sito della tela. Tenendo dapprima coperto uno di questi oggetti, e scoperto l'altro, e poi scoprendo il secondo nel tempo stesso che si ricuopre il primo, si otterranno dei passaggi e delle mutazioni le più illusorie e meravigliose; che chiamansi *quadri dissolventi*. Questi sono di recente invenzione. Che se lo strumento sia reso atto a dare le imagini anche di grandi oggetti, prende (da μέγας, *grande*) il nome di *megascopio*.

1 Adesso è molto in uso la lente detta Sthanope, che è (fig.48.) un cilindretto di vetro terminato in due superficie convesse. Si adopera appog-

genza, alla quale applicando l' occhio si à la visione assai ingrandita di un piccolo oggetto. Infatti sia (fig. 49.) una lente (H) così fatta, ed a minor distanza della sua focale principale si collochi, esempigrazia, un insetto (AB). I raggi emergenti dalla lente saranno divergenti così, come lo sarebbero se, invece di partire dai punti (A, B) dell' oggetto, partissero da punti assai più distanti (A',B'), ma collocati sugli assi stessi (oA, oB) che appartengono ai detti punti dell'oggetto. Questo apparirà quindi ingrandito assai (in A'B').

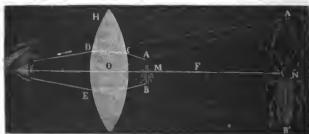



Fig. 49.

25. Problemi sulle imagini delle lenti combinate.

I. scolii. 1° Entrando a parlare dei fenomeni delle lenti combinate, principiamo dal fare avvertire che non vi è bisogno di esaminare il caso, in cui i raggi emergenti da una prima lente di divergenza siano ricevuti da una seconda lente qualunque. Perchè questi raggi essendo divergenti, come

giando l' oggetto semitrasparente sopra una delle due dette superficie, ed applicando l' occhio all' altra. Anzi si è anche principiato ad annettere stabilmente ad un anello, o alla testa di uno spilletto, un piccolo vetro, su cui trovisi disegnata una fotografia microscopica, e vi si è adattato stabilmente questo cilindretto di uno o due millimetri di diametro; ed è una meraviglia a vedere distintamente un quadro rappresentante un gruppo di più decine di persone, grandi quasi al naturale, racchiuso nello spazio di una testa di spillo. Ma negli altri microscopii (fig.50.) la lente (L) è tenuta ferma da un braccio stabile (E); come pure vi è un sostegno (P) per l' oggetto; e di più per uno specchietto (S) concavo si concentra sull' oggetto quella maggior quantità di luce, che è necessaria, affinchè questa collo sparpagliarsi conservi una intensità sufficientemente efficace sulla retina.

Google

se provenissero dall'imagine virtuale; ogni problema, che venisse proposto, troverebbe la sua risoluzione nelle cose già decise intorno alle lenti semplici.

2° Per la stessa ragione non si dovrà mai supporre, che l'imagine ottenuta colla prima lente di convergenza sia virtuale.

3° Non occorre nè anche di fare il caso che la seconda lente, combinata colla prima di convergenza, sia al di là dell' imagine stessa reale [1]: perchè i raggi, dopo formata l' imagine reale, vanno divergenti, come se provenissero dall' oggetto.

Fig. 50.

4° Nè finalmente si deve trattare del caso, in cui l'imagine prima rimanga esattamente al foco principale di una seconda lente di convergenza, oppure si trovi a distanza immensa in virtù del parallelismo dei raggi incidenti sulla seconda lente; perchè questi problemi sono già stati risoluti.

5° Non restano dunque da esaminare che quei casi, nei quali la prima lente sia di convergenza; inoltre disti tanto dall' oggetto da dare imagine reale; di più sia combinata con una seconda frapposta fra la prima, e la sua imagine; e finalmente che questa imagine si trovi a distanza limitata, e diversa dalla focale principale della seconda lente.

II. PROBLEMI. 1° *Si domandano le cose solite nel caso di una*

1 È questa la disposizione del *microscopio composto*, e del *canocchiale astronomico*. Il primo (il cui nome deriva da μικρός, *piccolo*, e σκοπέω *guardo*) differisce dal microscopio semplice in questo che per la lente, a cui si applica l'occhio, e che però è detta *oculare*, non si guarda direttamente l' oggetto, ma la sua imagine reale prodotta da un'altra lente, dinanzi alla quale è posto l' oggetto, e la quale per-

seconda lente di convergenza, posposta ad una prima di convergenza, e precisamente fra questa, e la sua imagine reale.

Risoluzione. Essendo convergenti i raggi incidenti sulla seconda di convergenza, questa non potrà che farli convergere vie maggiormente. Dunque, qualunque sia la distanza

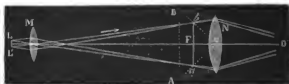



Fig. 51.

ciò viene chiamata *oggettiva*. Sia infatti (fig.51.) un oggetto (LL') posto a piccola distanza, maggiore per altro della focale principale, da una piccola lente (M) oggettiva; e se ne otterrà un'imagine (in *ab*) reale, capovolta, distante dalla lente molto più dell' oggetto, ed ingrandita. Al di là dunque di questa imagine si collochi un'altra lente (N), in guisa che la distanza (OF) della imagine dalla lente (N) sia minore della focale principale della stessa (N), che è la oculare. Si formerà dalla parte medesima della imagine (*ab*) (che per la oculare tiene le veci dell'oggetto) un' imagine (AB) virtuale, diritta colla prima (*ab*), capovolta rispetto all' oggetto (LL'), più lontana e più grande della prima (24.II.4°). Ma i raggi divergenti (e tali sono gli emergenti da N) sono efficaci per la visione.

Fig. 52.

sione. Dunque con un occhio collocato dietro l' oculare (in *o*) si vedrà l' oggetto (LL') mutato in una grande imagine (AB). Poichè per altro ad ogni ingrandimento risponde una diminuzione nella intensità della luce, così è che in un microscopio composto (fig.53.) diviene maggiormente necessario d'illuminare energicamente gli oggetti trasparenti (O') con uno specchietto concavo (SS'), e gli opachi con una lente (H). Tanto più che l'oggettivo (E) può essere composto esso pure, ossia può constare di due o di tre lentine convergenti per combinarle in diverse maniere, ed ottenerne diversi ingrandimenti.

Ma oltre ciò nei più perfezionati microscopii suole adottarsi *l'oculare*

della imagine prima dalla lente seconda, I. la imagine seconda sarà reale, II. diritta colla prima, perchè ambidue restano dalla stessa parte del centro ottico della seconda lente; III. e però capovolta verso l'oggetto. IV. Sarà inol-

così detto di *Campani*; che consiste in due lenti (*m* ed *n*) piano-convesse, col piano rivolto verso l'occhio; ed offre il vantaggio di raccogliere i raggi troppo obliqui, che senza ciò non cadrebbero sull'oculare (*m*); e di più rende il sistema acromatico. Quanto all'aberrazione di sfericità, essa è corretta da due diaframmi (*e*, ed *e'*).

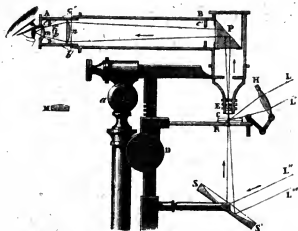



Fig. 53.

È celebre la disposizione data al microscopio da Amici di Modena. Questi à piegato il tubo (ABC) ad angolo retto (in B), ed à introdotto dentro quest'angolo un prisma (P) rettangolare di vetro, per mezzo del quale i fascetti lucidi saglienti verticalmente sono ripiegati di 90°, e vanno all'occhio in direzione orizzontale. Con ciò, si può guardare orizzontalmente, e quindi senza affaticar tanto la vista, come avverrebbe guardando verticalmente in giù un oggetto, il quale non potesse collocarsi che in un piano orizzontale.

Il canocchiale (fig. 52.) destinato a mirare gli astri non è molto dissimile da un microscopio. L'oggettivo (M) è assai grande per raccogliere un maggior numero di raggi, e dell'oggetto (L L) produce al foco principale un'imagine (*ab*) reale, capovolta, e piccola (**23.**III.1°3°). Ma questa dista dall'oculare (N) meno del foco principale; se ne forma quindi una seconda imagine (AB) virtuale, ingrandita, diritta rispetto alla reale, e capovolta in riguardo all'oggetto. Siccome poi ogni piccolo movi-

tre più vicina alle lenti; e tanto più, quanto la lente seconda sarà più vicina all'imagine prima. Poichè più la lente seconda si accosta all'imagine prima, e più i raggi, da questa imagine fino alla lente seconda, saranno divergenti ; ossia la lente seconda abbraccerà raggi più remoti dall'asse del fascetto ; e così i veri incidenti sulla lente seconda saranno più convergenti. Per conseguenza la seconda imagine sarà più piccola della prima, e tanto più quanto la lente seconda sarà più vicina all'imagine prima.

mento fa cangiare assai il campo di un canocchiale il cui ingrandimento sia forte ; così al fianco di questo se ne annette un altro, che ingrandisca poco, chiamato il *cercatore*. Il quale porta un diaframma (fig. 54.) con due sottilissimi fili a croce, ed è disposto in guisa, che quando l'astro risponde all'incrocicchiamento di questi due fili, trovasi eziandio nel campo del canocchiale grande.

Fig. 54.

Relativamente poi alla quantità d'ingrandimento, il calcolo fa vedere, che è sensibilmente uguale al rapporto che passa fra la distanza focale principale dell'oggettivo, e quella dell'oculare.

Si dice *Canocchiale terrestre* quello che serve per vedere gli oggetti distanti assai, ma terrestri ; e differisce dall'astronomico, perchè in esso l'imagine virtuale è diritta rispetto all'oggetto. Questo effetto si ottiene per mezzo di due lenti (P e Q) di convergenza (fig. 55.). Infatti l'imagine dell'oggetto (LL') si forma quasi al foco principale dell'oggettivo (M); cioè in (ff'); e qui appunto si fa coincidere il foco principale della lente (P). Per la qual cosa i raggi emergenti (da P) procederanno parallelamente all'asse rispondente al punto da cui procedono;

Fig. 55.

e però dopo essersi incrocicchiati (in H) imbatteranno sulla lente, come se venissero da distanza immensa ; e daranno rovesciata l'imagine reale (ab) dell'imagine (ff'). Quindi emergendo divergenti dall'oculare (R) somministreranno all'occhio l'imagine virtuale (AB) della reale (ff'), capovolta rispetto a questa (ff'), ma diritta rispetto all'oggetto (LL'). Quanto all'ingrandimento, questo è dato nel rapporto sopraddetto, se le due lenti (P e Q) ànno la stessa convessità.

2° *Le cose medesime per una lente di divergenza collocata a distanza (dalla imagine prima) uguale alla focale principale della lente seconda!*

Risoluzione. Già sappiamo che se i raggi incidenti sopra una lente di divergenza sieno paralleli, nell'emergenza ànno un andamento così divergente da rincontrarsi le prolungazioni loro alla distanza di un raggio. Dunque per converso, dato che i raggi incidenti sopra una tal lente abbiano una convergenza uguale alla divergenza sopraddetta, nell'emergere correranno paralleli. Dunque l'imagine della seconda lente sarà I. a distanza immensa, II. reale e virtuale, III. capovolta e diritta, IV. grandissima [1].

3° *Le cose solite nel caso che la imagine prima disti dalla lente seconda più del suo foco principale.*

Risoluzione. In questo caso i raggi incidenti avranno un andamento men convergente del caso antecedente; e però la lente di divergenza, che in quello spiegava la sua forza divergente col renderli paralleli, questa volta li ridurrà divergenti più o meno, secondo che la imagine prima dista più o meno dal foco principale della seconda. E perciò l'imagine I. sarà virtuale [2], II. capovolta rispetto all'imagine prima, diritta in riguardo all'oggetto, III. starà fra la distanza immensa e la imagine prima, IV. sarà più grande della prima imagine.

1 E infatti, rappresentando colle solite lettere, ma con apice, le quantità delle note formule applicate al caso della seconda lente, essendo questa di divergenza, avremo $\frac{1}{\delta'} = -\left(\frac{1}{\Delta'} + \frac{1}{d'}\right)$. Nel caso presente $d' = \Delta'$, anzi $d' = -\Delta'$; perchè l'oggetto della seconda lente, che è poi l'imagine della prima, non istà dalla parte, in cui cadono i raggi sulla lente, ma dall'altra, dove trapasseranno i raggi emergenti. Per la qual cosa $\frac{1}{\delta'} = -\left(\frac{1}{\Delta'} - \frac{1}{\Delta'}\right) = -0$.

2 Similmente poichè in questo caso $d' > \Delta'$, la frazione $\frac{1}{d'} < \frac{1}{\Delta'}$; e però nella formula $\frac{1}{\delta'} = -\left(\frac{1}{\Delta'} - \frac{1}{d'}\right)$, la quantità dentro parentesi sarà positiva, ed il secondo membro, e quindi anche δ' sarà negativa. Il che prova la virtualità dell'imagine seconda.

4° *Si fanno le solite domande per una lente di divergenza posta a distanza dalla imagine prima minore della propria focale principale.*

Risoluzione. La lente seconda, ad onta della sua forza di divergenza, non potrà far divergere i raggi emergenti. Perchè, quando i raggi incidenti si avviano al foco principale della seconda, gli emergenti sono paralleli. Dunque quando convengono prima del detto foco, ossia convergono di più; gli emergenti saranno convergenti. Solo ne diminuirà la convergenza, e tanto più quanto l'imagine prima dista più dalla lente seconda. E però I. l'imagine sarà reale; II. diritta rispetto all'imagine prima, perchè resterà con essa dalla stessa parte del centro ottico della lente seconda, e capovolta rispetto

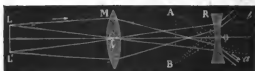



Fig. 56.

all'oggetto; III. si troverà fra la imagine prima e la distanza immensa; IV. sarà finalmente più grande dell'imagine prima [1].

III. ALTRO SCOLIO. Sulle conclusioni enunciate nella relazione del terzo problema è fondato *l'occhiale* galileano (fig.56.). Il quale è riducibile a piccola estensione: perchè la distanza delle due lenti non è la somma, come nell'astronomico, ma è minore della differenza delle loro due distanze focali principali. Ed è però che non suole più usarsi che con lenti di corto foco, e per oggetti poco distanti, e quindi à cambiato il nome di *telescopio* (derivante da τῆλε *lontano*, e σκοπέω *guardo*) cui ebbe un tempo, in quello di *occhialino da teatro*. Ma quanto al nome di telescopio è bene avvertire che esso al presente non si dà a nessun canocchiale fornito solamente

1 Qui $\Delta' > d'$; e perciò, nella solita formula, $\frac{1}{\Delta'} < \frac{1}{d'}$. Prevarrà dunque dentro parentesi il segno negativo: il quale moltiplicato pel segno che è fuori della parentesi, darà positivo il valore di δ'.

by Google

di lenti; ma si riserba per quelli fra loro nei quali, per mezzo di uno o più specchi, una gran quantità di raggi sono raccolti sulla lente oculare.

26. Diacaustiche. — Tutto ciò, che procede intorno alle imagini delle lenti, poggia sopra la supposizione della piccola apertura di queste. Ond'è che, quando tale supposizione non si avveri, invece di un foco si avrà un'estensione più o meno grande, nella quale verranno a spandersi i punti delle parziali riunioni dei raggi provenienti da un punto lucido. È appunto di questo caso che passiamo a dare un breve cenno.

I. DEFINIZIONI. 1ª La estensione, in cui si spandono i raggi, se la lente non sia di piccola apertura, chiamasi *diacaustica* ed anche *caustica per rifrazione.*

2ª Il fenomeno producente le diacaustiche suol nominarsi *aberrazione di sfericità per rifrazione.*

3ª Da διά, che significa *tra* o *a traverso*, e da φράγμα *chiusura*, dicesi *diaframma* un disco opaco avente nel mezzo un'apertura circolare.

4ª Imaginiamo (fig.57.) una lente (C) piano-convessa di piccola apertura, cinta da un anello (AA′), il quale sia stato ricavato dal tagliare intorno intorno un'altra lente piano-convessa più grande, ma parimente di piccola apertura; e che questo anello medesimo sia incastonato similmente dentro un altro anello più grande ancora (BB′), e ricavato col tagliare, come sopra, una lente ugualmente piano-convessa di piccola apertura; e così di sèguito. Avremo concepita una di quelle lenti, che chiamano a *gradinate*, a *scaglioni*, ed anche *polizonali.*

Fig. 57.

III. SCOLII. 1° Si può ovviare all'inconveniente delle diacaustiche per mezzo di un diaframma. Imperocchè, ove davanti ad una lente, sia collocato un diaframma, la cui apertura lasci scoperti nella lente medesima soli tre o quattro gradi; è manifesto che saranno impediti di avviarsi ad essa tutti quei raggi lucidi, i quali, traversandola verso gli orli, produrrebbero le diacaustiche.

2° Siccome il riparo del diaframma diminuisce la quantità

della luce, così in certi casi è opportuno rivolgersi invece all' espediente delle lenti polizonali. Queste, che furono già imaginate da Buffon, e sono state perfezionate da Fresnel (di cui spesso portano il nome) recano, oltre il vantaggio della poca grossezza, anche quello di soddisfare alla condizione della piccola apertura, ad onta che dieno passaggio a fascetti di una grande base.

3° Si avverta che le lenti polizonali possono servire anche ad evitare le catacaustiche (**16.**); perchè si costruiscono in maniera da dare per riflessione totale (**19.** II. 3°) un unico foco di raggi anche molto divergenti. Così, posponendo alla fiamma una di queste lenti, ed anteponendone una delle sopra descritte, si potrà ottenere che i raggi, i quali vanno dalla parte avversa a quella che si vuole illuminare, in virtù della lente polizonale posposta, ritornino ad incrocicchiarsi alla fiamma, e quindi riunendosi a quelli che vanno alla parte da illuminarsi, nel trapassare la lente anteposta, sieno ridotti paralleli. Oppure per ritrarre profitto da tutti quei raggi che vanno in alto e da quelli che vanno in basso, si possono porre (una sopra ed una sotto alle lenti polizonali verticali) due serie di corone riflettenti, non fatte di specchi anulari conici, come talora si usa, ma di anelli prismatici di vetro atti a dare la riflessione totale, e posti uno sotto l' altro in tanti piani orizzontali.

4° I fari, o i lumi che si usano nelle lanterne dei porti, presentemente si fanno con lenti polizonali, e possono riuscire visibili perfino alla distanza di 60 o 70 chilometri. Anzi, ove un moto di orologeria imprima a tutto il sistema una rotazione intorno ad un asse verticale, il passaggio successivo delle varie lenti polizonali attribuirà un'intermittenza alla luce, per la quale si otterrà in ciascuna unità di tempo quel dato numero di ecclissi, che fa distinguere un porto da un altro. Sebbene queste eclissi si possano ottenere eziandio col solo far girare davanti al faro una lente polizonale; la quale di più potrà esser fatta di vetro di un dato colore, e costituire così un altro carattere distintivo del faro.

27. Birifrazione. — Prima di chiudere questo Articolo è utile dare almeno un cenno sul modo straordinario di ri-

frangersi che tiene la luce, allorchè trapassa una certa classe di corpi.

I. scolii. 1° Quando un fascetto di luce s'introduce in un cristallo non appartenente al sistema primo, ossia cubico, come sarebbe lo spato d'Islanda; ovvero quando entra in certi corpi non cristallizzati, esempigrazia nella madreperla; oppure quando trapassa un corpo qualunque vuoi compresso, vuoi dilatato per mezzo di una forza meccanica o del calorico, generalmente parlando si biforca in due mezzi fascetti distinti e separati. Ond'è che se (fig. 58.) un corpo di tal fatta (ABCD) trovisi esposto ad un punto lucido (O), in un dato sito di esso s'introdurranno due distinti fascetti (OI, OE) di luce. Questi dunque, ove nell'uscire dal detto corpo s'imbattano sopra un opaco, potranno su di esso dipingere due imagini (una in I ed un'altra in E) del punto medesimo. Che se invece al di là del diafano stesso esista un occhio (V), questo dovrà accogliere tanto i raggi (OEV), che sono atti a formare (in O′) una delle dette imagini, quanto quelli (OIV), che sono disposti a rappresentare (in O″) l'altra.

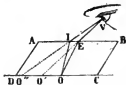



Fig. 58.

2° Ordinariamente uno dei due mezzi fascetti, in cui la luce si è scompartita, ubbidisce alla legge cartesiana della rifrazione, e l'altro no.

3° In ognuno dei corpi, capaci d'imprimere due deviazioni diverse alla luce, che vi s'intromette, vi è sempre una certa direzione, intorno alla quale i fenomeni sono gli stessi da ogni lato: e nel piano della quale giacendo il raggio incidente, non vi è separazione veruna nel rifratto. E comunemente questa direzione è parallela all'asse cristallografico. Anzi vi à dei cristalli, e può dirsi in generale, esser quelli di sistema irregolare cioè non simmetrico, nei quali trovansi due direzioni, intorno a cui tutti i fenomeni sono simili, e nel cui piano trovandosi il raggio incidente, la luce non si divide in due. È tale, per esempio, il solfato di calce, il topazio del Brasile, ed il talco.

II. DEFINIZIONI. 1ª Il dividersi che fa un fascetto di luce in due, quando s'introduce in certe sostanze singolari, chiamasi *birifrazione*, ed anche *doppia rifrazione*.

2ª Le sostanze, nelle quali accade la birifrazione, sono chiamate *birifrangenti*, o *doppiamente rifrangenti*.

3ª Quello dei due mezzi fascetti, del quale si verifica la legge cartesiana, è detto *raggio ordinario*, e l'altro chiamasi *raggio straordinario*.

4ª Si denomina *ordinaria* l'imagine prodotta dal raggio ordinario, e *straordinaria* l'altra.

5ª La direzione, intorno a cui tutti i fenomeni di birifrazione avvengono in simmetria, dicesi *asse ottico*; ed anche *asse di birifrazione*.

6ª Un piano condotto per l'asse ottico, e perpendicolare ad una faccia o naturale o artificiale del cristallo birifrangente, viene appellato *sezione principale*.

7ª Si chiama poi *sezione perpendicolare* quella, che è formata da un piano, su cui l'asse ottico insiste perpendicolarmente.

8ª I cristalli, che ànno due assi, diconsi *biassi*.

9ª Nei cristalli biassi la linea, che divide in due metà l'angolo formato dai due assi, vien detta *linea mediana* ed anche *intermediaria*.

10ª Si denomina *linea supplementare* la retta, che divide in due metà il supplemento dell'angolo formato dai due assi.

11ª Il rapporto, che si ritrova fra il seno dell'angolo di incidenza, e quello della rifrazione straordinaria, suole nominarsi *indice straordinario*.

12ª Poichè in alcuni cristalli, come sarebbe il quarzo, l'indice straordinario supera l'ordinario; ed in altri, verbigrazia, nel carbonato di calce, e nella tormalina accade l'opposto; così quelli vengono detti *cristalli positivi*, e questi *negativi*.

III. LEGGI. 1ª *Ove il piano d'incidenza giaccia nella sezione principale, il raggio staordinario ubbidisce alla legge della medesimezza dei piani: ove poi giaccia nella sezione perpendicolare, oltre la detta legge, si verifica anche quella della costanza dell'indice di rifrazione straordinaria.* Infatti, facendo girare nel suo piano un cristallo a facce parallele, nel primo

Digitized by Google

caso l'imagine straordinaria passa due volte nel piano d'incidenza, nel secondo l'una e l'altra imagine resta ferma.

2ª *Nei cristalli biassi ambidue i raggi sono straordinarii; ciò non ostante uno dei due si uniforma alle leggi della rifrazione nel piano perpendicolare alla linea mediana, l'altro in quello perpendicolare alla linea supplementare.*

IV. L'incontrarsi tutti insieme di tanti raggi di luce nei fochi di varie lenti poste una dopo l'altra, senza che perciò si confondano o si alterino a vicenda; il loro successivo riaprirsi in opposti fascetti atti a dare imagini fedeli, nitide, e assai splendenti degli oggetti, donde provengono ; i vantaggi che traggonsi dalla rifrazione per aumentare la intensità della luce , e la nostra forza visiva ; i perfezionamenti e gli aiuti che ne sono derivati alle belle arti ; le scoperte che debbonsi al microscopio ed al telescopio; le meraviglie della fantasmagoria ; il portento della fotografia non possono a meno di non recarci un immenso stupore. Ma da questo non dovrebbe derivare solamente una sterile e spesso anche esagerata stima per quelli , i quali s'imbatterono i primi in questi preziosi risultati : ma anche , e a più gran diritto, dovrebbe germogliare un altissimo concetto della Sapienza e Bontà del Creatore, che da leggi sì semplici tragge effetti cotanto utili e maravigliosi.

ARTICOLO IV.

DISPERSIONE DELLA LUCE.

88. Fenomeno della dispersione. — Qual sia il suggetto del presente Articolo si rileverà dalla seguente

I. PROPOSIZIONE. *La luce bianca risulta dall'insieme di raggi, secondo tutte le apparenze, di diverso colore.*

Dimostrazioni. 1ª La proposizione è vera tanto per la luce diretta, che per la indiretta. 1. Entri (fig.59.) un fascetto (S) di luce , esempigrazia , solare pel foro di una camera oscura, e venga avviato a traversare un prisma (M) di vetro, posto col vertice (O) in basso ed orizzontale. Al disco lucido , che prima si avea sul pavimento (in K), sottentra

nella parete (in H), ossia verso la base del prisma, una zona larga quanto il disco (K) ma oblunga, terminata verticalmente da due rette parallele, ed orizzontalmente da due semicircoli, e divisa in tante zone orizzontali di diverso colore nell'ordine seguente. L'estremità inferiore (R) è rossa, sopra questa è l'arancio (A), poi segue il giallo (G), il verde

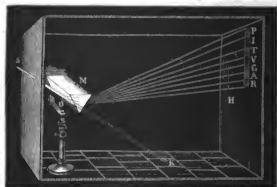



Fig. 59.

(V), il torchino (T), l'indaco (I), e finalmente l'estremità superiore (P) è pavonazza. Dunque ecc. II. Accade lo stesso della luce diffusa. Infatti il color bianco di una piccola striscia di carta incollata sul nero, ove si traguardi con un prisma, si tinge dei medesimi sette colori.

Fig. 60.

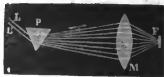



Fig. 61.

2ª La sintesi ci conduce alla stessa illazione, tanto per la luce emessa, come per la diffusa. I. Alla parete, su cui cade la detta striscia colorata, si sostituisca (fig.60.) uno specchio concavo (SS'); i colori verranno a riunirsi nel foco (F). Or bene; quivi si ottiene di nuovo la luce bianca. Si ottiene la cosa analoga sostituendo (fig.61.) allo specchio una

lente (M) biconvessa, oppure (fig. 63.) posponendo al primo prisma (P) un secondo (P'), in senso inverso. II. Quanto alla luce diffusa, facendo ruotare velocemente nel suo piano (fig. 62.)

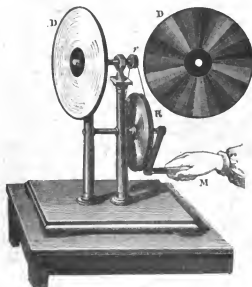



Fig. 62.

un disco (D), su cui sieno stati dipinti in antecedenza i detti colori colla loro disposizione relativa e particolare estensione, esso disco appare chiaro e bianco ; purchè la velocità di rotazione sia abbastanza grande.

II. DEFINIZIONI. 1ª Questa decomposizione della luce si chiama *dispersione*. In senso più ristretto con questa parola non s'intende il fatto , ma la sua quantità, ossia l'estensione della detta striscia colorata.

Fig. 63.

2ª Questa striscia appunto si denomina *spettro solare*.

3ª I soprannominati colori, poichè ricevuti uno per volta

da un secondo prisma non si decompongono più, si domandano *semplici*.

III. COROLLARII. 1° I raggi dei diversi colori dello spettro sono diversamente rifrangibili. Poichè ciascun disco formato dai raggi di un diverso colore va in un sito diverso, e così il disco violetto formasi verso la base del prisma più di ogni altro, e men di tutti il rosso; così è manifesto che i raggi del violetto soffrono maggior rifrazione di quelli dell' azzurro, e via dicendo. Siccome poi questa diversa rifrazione non proviene dal prisma, bisogna dire che derivi dai raggi medesimi; e che però essi stessi sieno dotati di diversa rifrangibilità. In altri termini: ai raggi di diverso colore spetta un diverso indice di rifrazione (**18.** I. 6°).

2° Le imagini ottenute colle lenti debbono essere circondate da un anello colorato. Si riceva su di un disco (fig. 64.) opaco bianco (B) l'imagine del Sole prodotta da una lente biconvessa (L). Se questo disco sarà collocato (in A), al di là del foco della lente, la detta imagine sarà bianca al centro (tra s ed s'),

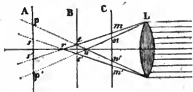



Fig. 64.

ma avrà intorno un' aureola (sp, $s'p'$) torchina nel concavo (ss') e paonazza (p, p') nel convesso. Che se invece il disco medesimo sarà posto (in C) più vicino alla lente del suo foco principale, l'imagine sarà parimenti bianca al centro (nn'), ma l'aureola (mn, $m'n'$), ond' è coronata, si mostra violetta nell'interno (n, n'), e rossa nel circolo (m, m') esteriore. Imperocchè ogni raggio incidente è disperso dalla lente, come lo sarebbe da uno dei prismi, dei quali essa costa (**22.** II. 2°). Si forma quindi un gran numero di spettri circolari, fra i quali i medii si sovrappongono completamente, e gli estremi solo incompletamente. Il rosso, come meno rifrangibile, fa il suo foco a maggior distanza (in r); il violetto, come il più rifrangibile, lo fa più vicino (in u). Quindi nel contorno dell' imagine manca qualcuno dei colori. Colla

differenza che nella imagine, la quale trovasi (in C) fra la lente ed il suo foco, resta isolato all'esterno il rosso (m,m'); nell' imagine invece, che si forma (in A) al di là del foco, cioè dopo che i raggi si sono incrociati, procede isolato all'esterno il pavonazzo (p,p').

III. SCOLII. 1° Già sappiamo che, riunendo insieme tutti i colori dello spettro, meno uno, non si ottiene il bianco, ma un qualche colore composto; e che il bianco rinasce appena a quest'ultimo uniscasi quell'uno escluso.

2° Abbiamo anche veduto (I. 2ª. I.) che, con due prismi inversi (fig. 63.), la luce dispersa dal primo ritorna bianca, dopo aver traversato il secondo.

IV. ALTRE DEFINIZIONI. 1ª Il fenomeno delle aureole colorate, che circondano le imagini ottenute dalle lenti, si denomina e si ritiene una *aberrazione di sfericità*.

2ª Quel colore, che aggiunto ad un altro restituisce il bianco, si dice *complementare* di quest'altro; e viceversa.

3ª Da α (particella privativa) e χρῶμα (*colore*) si dicono *acromatiche* le lenti combinate in maniera da elidere le aureole colorate; *acromatismo* questa loro proprietà; ed *acromatizzarle* il renderle acromatiche.

4ª È detto *poliprisma* un insieme di prismi uniti per le le loro sezioni principali, e fatti di sostanze dispergitrici diverse.

5ª Viene denominato *prisma variabile*, e *scatola prismatica* quello, che è formato da due lastre piane di vetro incastonate in metallo; una delle quali è fissa, e l'altra è mobile in guisa da potersi variamente inclinare verso la prima, e tutte a due sono strette fra due basi per potervi racchiudere un liquido qualunque.

29. Sostanze dispersive, acromatismo, e spettro.—
I. PROPOSIZIONE. *La lunghezza dello spettro o la dispersione, a pari angolo rifrangente, divaria colla sostanza dispergitrice; con prismi poi della stessa sostanza decresce coll'angolo rifrangente.*

Dimostrazione della 1ª *parte*. Si abbia un poliprisma formato di sostanze assai diversamente dispergitrici, come sarebbe il vetro detto *cronne*, e l'altro chiamato *flinte*;

oppure un prisma variabile. Dispergendo la luce bianca, la quale trapassa o per una o per un' altra sostanza del poliprisma, o per uno od altro liquore versato nella scatola prismatica, si osserva la produzione di spettri di diversa lunghezza [1]. Dunque ecc.

Dimostrazione della 2ª parte. Prendasi un prisma variabile, e si riempia di un liquido qualunque. Si vedrà che, coll'aumentare l'angolo di rifrangenza, aumenta parimente la dispersione.

II. SCOLII. 1° Dopo le cose dette si vede con sufficiente chiarezza, che non dev'essere impossibile combinare (fig. **65**.) due lenti, formate ciascuna di una sostanza diversamente dispersiva (per esempio una di flinte, ed una di cronne), di angolo rifrangente diverso, ed una delle quali (AD) sia inversa all'altra (BC); in guisa che i colori vengano a sovrapporsi, e quindi rimanga distrutta, o almeno ridotta ad una linea invisibile l'aureola colorata prodotta dall' aberrazione di rifrangibilità. Infatti se due prismi (fig. **66**.) inversi sieno della stessa sostanza, ma l'angolo rifrangente (FCG) del secondo sia più piccolo di quello (BGC) del primo, certo la luce bianca ne sarà dispersa. Se invece il primo si faccia di cronne, ed il secondo di flinte, diminuendo convenientemente l'angolo rifrangente (GCF) del flinte più dispergitore, in confronto all' angolo (BGC) del cronne, si giunge a rendere uguale il potere dispersivo di questi prismi: i quali, essendo inversi, dànno una dispersione in senso contrario; e i raggi emergenti (RE, R'E') saranno riportati al parallelismo. Siccome per altro la relazione degli angoli (BGC, GCF) conveniente pei raggi rossi, e per i pavonazzi, esempigrazia, non è uguale a quella dei raggi intermedii, ci vorrebbero sette prismi per un perfetto acromatismo. Tuttavolta anche con due soli

Fig. 65.

1 La diversa rifrangenza delle sostanze si misura colla differenza degl' indici di rifrazione dei raggi estremi dello spettro. Nel *flinte* questa differenza è 0,0433; pel *cronne* è 0,0246. Il che significa che la dispersione del flinte è quasi doppia di quella del cronne.

si ottiene un acromatismo, che è sufficiente per gli usi ordinari delle lenti. L'acromatismo fu nel 1733 ideato da Hall; e pubblicato nel 1757 da Dollond a Londra.

2° Si è domandato se i colori semplici sieno in realtà elementari. Perchè se i raggi di due diversi colori fossero dotati della medesima rifrangibilità, noi non avremmo il modo di separarli, e dovremmo ritenerli per semplici, ad onta che non lo fossero. È certo intanto che nello spettro si passa da un colore all'altro non di fatto, ma gradualmente; di maniera che dal giallo canario si giunge al verdeporro, ed al verdone per una serie di gialli e di verdi più o meno aperti, o cupi; e nel rosso vi è il rosso ciliegia, il rosso porpora, e così dopo varii rossi variamente accesi si perviene al rancio. Dunque i colori dello spettro non sono proprio sette: ma assai più. Ciò non ostante il numero dei colori del medesimo è stato fissato a sette; vuoi perchè il sette era un numero gradito, specialmente per certe analogie coi suoni musicali, vuoi perchè potea esprimersi con nomi più generali e semplici. Quindi alcuni Fisici tedeschi, tralasciando di nominare l'indaco, e considerandolo come un passaggio fra l'azzurro ed il violetto, amano di ridurre i colori principali a soli sei. Ma, se i colori di passaggio possono spiegarsi col supporre sei o sette dischi dei colori primitivi, i quali si succedano sovrapponendosi parzialmente; sarà anche lecito supporre che i colori elementari sieno tre soli, composti per altro di raggi diversamente rifrangibili fra loro, ed ugualmente rifrangibili con qualcuno di un altro colore. Comunque ciò sia, i tedeschi, sotto la scorta di Mayer, tengono che i colori elementari sien tre, rosso, giallo, ed azzurro; e che tutti gli altri nascano dalla parziale sovrapposizione di questi. E veramente in pittura il rosso col giallo fa il ranciato, il torchino col giallo fa il verde, il rosso col torchino fa il pavonazzo. Alcuni altri Fisici si attengono a Young; il quale, fondandosi su certe esperienze, onde si vede che con una me-

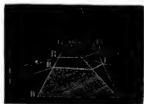



Fig. 66.

Fig. 67.

schianza di rosso e di verde si à il giallo, e con quella del verde col violetto si ottiene l'azzurro, sostiene che i colori elementari sieno pur tre, ma diversi dai sopraddetti; sieno cioè il rosso, il verde, ed il violetto. Del resto è certo, che non solo la riunione di tutti i colori dello spettro, ma un solo di essi unito ad un altro dà il bianco. Infatti il bianco si ottiene coll'unire il rosso col verde, oppure il ranciato coll' azzurro, o il giallo col violetto: il che favorisce la sentenza di Mayer.

3° Nello spettro solare, come in quello di altre luci sia naturali sia artificiali, si discuoprono certe strie o righe trasversali ora nere, ed ora assai risplendenti. I. Fu Wollaston il primo che nel 1802 vide nello spettro solare alcune di queste righe scure finissime. Quindici anni appresso Fraunhofer ne contò nello spettro solare un cinque o secento, ed avvertì che il numero cresceva colla forza del canocchiale usato a riguardarle. Queste righe sono ripartite irregolarmente e non coincidono coi limiti, d'altronde assai indecisi, dei colori principali; alcune sono delicatissime e nere, ma appena visibili; altre sono assai vicine e rassomigliano più un' ombra, che un insieme di linee; alcune altre sono spiccate, e mostrano un'estensione sensibile, ma ciascuna occupa un posto fisso e determinato. Il perchè il medesimo Fraunhofer per somministrare un filo di guida in questo inestricabile laberinto, determinò nello spettro solare otto righe principali, facili a distinguersi per la loro posizione ed intensità, e le disegnò colle prime lettere dell'alfabeto (fig. 67.). Fra mezzo a queste ve ne sono due altre (a, e b) assai notevoli. II. Le

Digitized by Google

righe scure, oltre che sono utili per determinare gli indizi di rifrazione dei varii colori, e nell'arte di rendere acromatiche le lenti, offrono eziandio un mezzo singolare di distinguere le diverse sorgenti luminose. Imperocchè esse divariano con queste, ma rimangono le stesse per la medesima sorgente, anche dopo aver subite più riflessioni. La luce del Sole, delle nuvole, della Luna, dei pianeti dànno righe ugualmente distribuite. Non così la luce delle stelle fisse, ognuna delle quali dà uno spettro diverso. Nello spettro di Sirio, esempigrazia, non vi sono righe nel giallo e nel ranciato, ma ve ne à due nel torchino, ed una notevolissima nel verde. Polluce à molte linee sottili, e la riga D occupa lo stesso posto che nello spettro solare. I solidi, ed i liquidi incandescenti, come sarebbero l'argento fuso, il platino rovente, dànno spettri senza righe, quando volatizzando non producono dei veri vapori, o ne producono dei trasparenti acroici. Le luci artificiali, e specialmente l'elettrica, invece delle righe scure, offrono delle linee, nelle quali i raggi sono più vivi che nelle parti vicine. III. Ma oltre tutto ciò, quando la luce traversa un gasse colorato prima d'incontrare il prisma, si manifestano delle nuove righe scure: i vapori di acido iponitrico producono nel più alto grado questo fenomeno, osservato la prima volta da Brewster. Molte sostanze (e particolarmente i sali dei metalli alcalini, ed alcalino-terrosi), introdotte nelle fiamme, fanno apparire nello spettro delle righe splendenti particolari. Se nella fiamma dell'acquarzente s'inframmette una laminetta di platino, umettata con una soluzione di sal marino diluita fino ad un cinquantamillesimo, lì di presente la fiamma prende la tinta gialla, che non si decompone dal prisma. Dopo lo studio e le scoperte di molti Fisici, [1]

[1] Wheatstone trovò, che nella luce elettrica il numero e la posizione delle strie divariano secondo la sostanza dei conduttori metallici: Zantedeschi di Padova nel 1846 annunciò che le variazioni avvengono e per la natura del corpo luminoso, e per quella del mezzo, per cui passano i raggi. Plucker di Bonna le esaminò per la luce della scarica elettrica a traverso i vapori. Foucault a Parigi nel 1849 ripetè le sperienze di Wheatstone, e ne diede altre leggi. Masson nel 1851 fissò le righe comuni, e le righe proprie di ciascun elettrodo. Swan di Sco-

recentemente Kirchhoff e Bunsen ànno provato che la natura di una combinazione nella quale trovasi un metallo, e la qualità delle fiamme e là loro temperatura, non recano veruna modificazione nelle strie splendide appartenenti a ciascun metallo. E partendo da queste leggi ànno creato un nuovo metodo d'analisi *qualitative*, pel quale è facile dimostrare in una sostanza la presenza delle più piccole tracce di corpi, cui i metodi ordinarii non permetterebbero di riconoscere che dietro le più minute e lunghe operazioni. Gli apparecchi destinati ad applicare questo metodo chiamansi *spettrometri*, ed ogni giorno si vengono sempre più perfezionando. Le righe poi appartenenti a tale o tale altro metallo sono designate con lettere greche aggiunte al segno chimico: così $Ca\,\beta$ indica una delle righe caratteristiche del calcio. Con tal metodo si è cercato di conoscere le sostanze, che costituiscono la fotosfera del Sole, e l'atmosfera delle stelle; si è trovato che il litio e lo strontio sono universalmente sparsi in natura in piccole proporzioni, come il potassio ed il sodio; ed infine i sopraddetti Kirchhoff e Bunsen sono stati condotti alla scoperta di due nuovi metalli, il cesio ed il rubidio, le proprietà chimiche dei quali rassomigliano assai a quelle del potassio.

4° Ma non è da credere, che nello spettro ogni azione termini colà, dove finisce (almeno per la nostra vista) la sua azione illuminante. Poichè in esso si associano tre azioni diverse, una illuminante, una riscaldante, ed una attraente. La massima intensità della luce sta nel giallo: ma la massima intensità del calorico à luogo verso il rosso, ed è sensibile anche al di là di esso; e la massima azione chimica trovasi verso il violetto, ed anche fuori. Quanto a quest'ultima è un fatto che la resina di gagate, che è gialla, nel raggio violetto assorbe l'ossigeno e si fa verde o azzurrina, e nel rosso ritorna gialla: l'idrogeno si combina col cloro nel violetto, ma non nel rosso; le foglie delle piante nei raggi più rifrangibili scompongono l'acido carbonico, ed emettendo l'ossigeno inverdiscono; il cloruro d'oro o d'argento, che è

zia determinò, che la doppia riga nelle luci artificiali si deve alla presenza di qualche sale di iodio.

bianco, annerisce alla luce, ma ciò accade più prontamente nei raggi violetti, che negli altri. Qui si riferisce il fondamento della fotografia (**24.** III. 1ª *Nota.*).

30. Spiegazione di alcune pirometeore. — Esporremo la cagione, dalla quale dipendono gli aloni, i parelii e l'iride ricorrendo a fatti e ad avvertenze che prescindano dal calcolo.

I. DEFINIZIONI. 1ª Ove un raggio di luce, dopo essersi introdotto in un mezzo diafano, ed avere in questo subito più riflessioni totali, ne emerga; chiamasi *angolo di deviazione* quello formato dalla direzione che il medesimo à nell'incidenza con quella, cui segue nell'emergenza.

2ª Una retta che passi pel Sole e per l'occhio dell'osservatore e vada oltre indefinitamente, viene chiamata *asse di visione*.

II. PROPOSIZIONI.

1ª *L'iride proviene dalla dispersione, che soffre la luce solare nell'emergère, dopo varie riflessioni, dalle gocce d'acqua di una pioggia lontana.*

Fig. 68.

Dimostrazione. Questa, com'è di ragione, divideremo in due parti.

Parte prima. La verità di questa supposizione risulta dalle seguenti considerazioni. 1. Un fascetto di raggi solari (fig.68.) entri per un forellino (A) in una camera oscura, e con una certa direzione (AI) vada ad investire un vase (IKLM) perfettamente cilindrico (di cui la figura mostra la sezione orizzontale), ripieno d'acqua. Si vedrà ciò, che non era difficile prevedere; che cioè il fascetto soffre nell'acqua più riflessioni totali (in K, L, M, N, O), ed altrettante parziali rifrazioni (KK', OO', LL'). Ond'è che il fascetto me-

desimo per le riflessioni riceve varii sbattimenti nel liquido, diminuendo gradatamente d'intensità; e per le rifrazioni genera tanti fascetti emergenti, che sono tanti spettri più o meno distinti, e sempre meno vivaci. II. Concepiamo ora (fig. **69**.) un raggio (**LI**), il quale, dopo essersi rifratto (secondo **IR**) e riflesso (secondo **RE**) emerge, sotto una certa direzione (**EK**), formando un determinato angolo (**IDK**) di deviazione. Or bene: quest' angolo, quando il raggio incidente sia perpendicolare, è nullo, come sappiamo; ma (e ciò può dimostrarsi col fatto e colla Geometria) aumenta fino ad un certo limite coll' ingrandirsi dell' angolo di incidenza; ed ove quest' ultimo sèguiti ad aumentare ancora, esso cioè l'angolo di deviazione diminuisce invece di nuovo. Or non è che sotto questa deviazione massima, che il fascio emergente è sensibile all'occhio. Ed a ragione. Dacchè tutti quei raggi emergenti che, provenendo da incidenze disuguali, soffrono deviazioni pure ineguali, quanto più si allontanano dall' acqua, tanto più ancora si allontanano fra di loro: e così camminando sparpagliati diminuiscono talmente d'intensità, che alla distanza dell'occhio non sono abbastanza efficaci per produrre la visione. Ma se una data quantità variabile divaria con tal legge, che dapprima gli aumenti o le diminuzioni crescono fino ad un certo limite, (nel quale essa stessa aggiunge il suo massimo o minimo valore), e poscia le diminuzioni o gli aumenti ripassano per i primieri valori; certamente i valori prossimi al massimo e al minimo diversificano pochissimo fra loro e possono prendersi per costanti. Dunque i raggi emergenti prossimi a quello che soffre la deviazione massima, saranno più spessi, sensibilmente paralleli, e però sensibili all' occhio.

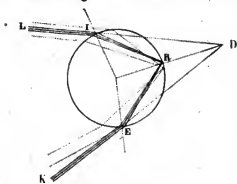



Fig. 69.

Poichè dunque i raggi rossi, avuto riguardo alla loro speciale rifrangibilità, ànno (come risulta dal calcolo e dall'esperienza) per deviazione massima 42°, 1′, 40″; così sotto tale angolo non pervengono all'occhio separatamente dagli altri ed efficacemente, che i raggi rossi. Parimente, siccome la deviazione massima dei raggi violetti è stata trovata essere 40°, 16′; così sotto tal deviazione non saranno visibili che i raggi violetti. Ed essendo le deviazioni massime dei raggi intermedii date da archi parimenti intermedii ai sopraddetti, sotto questi angoli non saranno efficaci che successivamente i colori intermedii dello spettro.

Fig. 70.

Parte seconda. La sufficienza poi della ipotesi medesima è resa manifesta dalla perfetta sua coincidenza con tutte le condizioni quantitative del fenomeno. I. Concepiamo due rette (fig.70.) indefinite, una delle quali OC passi pel Sole e per l' occhio dell' osservatore; rappresenti insomma l' asse di visione; e l'altra O *d* sia inclinata sull' asse di visione della quantità 42°, 1′, 40″, e venga prolungata fino alle nuvole. I raggi solari S*d*, che giungono alle nuvole e tagliano questa seconda retta, sono fisicamente paralleli all'asse di visione. Dunque l' angolo *ad*O è uguale a *d*OC, ossia alla deviazione massima del rosso; e l' occhio dovrà vedere rossa una delle gocce d' acqua, nelle quali si risolve quella nuvola. Anzi non vedrà rossa una sola goccia, ma

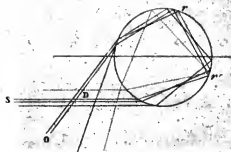
tutte quelle, cui andrebbe ad incontrare in giro la *Od*; se si supponesse che questa, tenendosi fissa in O, ed ugualmente inclinata ad OC, si ravvolgesse intorno a quest' ultima. Ma vi è di più. Il Sole non è un punto, ma à una grandezza apparente di mezzo grado circa. Dunque replicando il medesimo discorso per tutta questa estensione, se ne conchiuderà doversi vedere una zona circolare, larga circa mezzo grado, tutta rossa; e più sotto un'altra simile aranciosa, e così via discorrendo fino alla zona pavonazza. Si avverta per altro che la sovrapposizione delle zone parziali deve rendere i colori meno spiccati; e però non possono essere chiaramente distinti che gli estremi. E questa è la spiegazione dell' iride interna; la quale però dovrà esser larga 1°,45′,20″, più 30′ dipendenti dal diametro solare.

II. Quanto alla esterna si rifletta che possono pervenire all'occhio anche i raggi emergenti dopo due riflessioni in *r*, ed *r′* (fig. 71). Ma affinchè questi, a differenza degli altri che si confondono insieme e danno il bianco, procedano di conserva e sieno efficaci, conviene che abbiano subito o la deviazione minima (SDO), o una poco maggiore, o poco minore. Ora questa pei raggi rossi è 50°,58′, pei violetti è 54°,9′, e pei colori intermedii è intermedia. Dunque al di sopra dell'arco or ora spiegato potrà apparirne un altro, il quale sarà dipinto inversamente al primo, ma sarà più languido: perchè in ogni riflessione l'intensità della luce dee diminuire; e sarà largo (compreso l'aumento dovuto alla grandezza del Sole) 3°,40′, 48″. Si vede quindi che la distanza dei due archi deve essere 8°, 57′, 10″ meno i 30′, di cui abbiamo aumentato nella somma i due archi nell'intervallo che li separa. Or

Fig. 71.

questi numeri dedotti dalla teoria combaciano a capello con quelli dati dall'osservazione. Dunque la cagione assegnata, essendo vera e sufficiente, dee ritenersi per l'unica spiegazione del fenomeno.

2° *Gli aloni, ed i parelii provengono dalle rifrazioni e dispersioni, che soffre la luce negli aghetti prismatici di ghiaccio natanti nell' atmosfera.*

Dimostrazione. Questa pure divideremo nelle due solite parti.

Parte prima. Innanzi di attribuirsi il diritto di sostituire la sopra enunciata ipotesi di Mariotte e di Venturi a quelle che erano state antecedentemente proposte, è necessario provare la presenza nell' atmosfera di tali aghetti di ghiaccio, duranti gli aloni. Or bene: che questa cagione sia vera si dimostra da ciò, che molti osservatori ànno veduto degli aloni vicinissimi prodursi in caso di pioggia di particelle agghiacciate, ed interrompersi là dove tal pioggia era interrotta.

Parte seconda. Che poi l'ipotesi medesima sia sufficiente risulta da molte considerazioni. 1. La forma dei cristalli di ghiaccio natanti nell' aria è assai variabile, ma generalmente è in prismi esagonali. Ond' è che nessun raggio può traversarli quando incontra due facce consecutive, l' angolo delle quali è 120°; ma due facce separate da una terza fanno un angolo di 60°, ed è a traverso di queste facce, che passano i raggi producenti gli aloni. Veramente tutti quegli aghetti, che stanno in un piano che passa pel Sole e per l'osservatore, mandano luce rifratta in ogni direzione giacente in tal piano. Ma vi avrà una direzione, nella quale la luce sarà più intensa. Infatti i prismi, che sono collocati in modo da dare la deviazione minima, potranno girare alquanto intorno a sè stessi senza che tal deviazione cangi sensibilmente. Avviene come se i prismi così collocati fossero più numerosi di tutti gli altri. D' altra parte quei prismi, che girano sopra sè medesimi, inviano raggi che passano rapidamente davanti agli occhi dell'osservatore. Ma quelli che trovansi a tal distanza angolare dal Sole da inviare agli occhi i raggi rifratti nel momento, in cui questi raggi provano la deviazione minima, producono un' impressione più viva: per la ragione che il fascio continua a pervenire all' occhio in tutto

il tempo che il prisma subisce un esteso spostamento. Ora appunto la deviazione minima pel rosso, supposto 60° l'angolo rifrangente, è circa 22°; e per gli altri colori è alquanto più grande; deve dunque (fig. 72.) il piccolo alone (*aa*) formarsi a 22°, ed avere il rosso nel suo concavo. II. Quanto poi al grande alone (AA) di 46°, può ripetersi il detto fin qui; colla differenza che, secondo Cavendish, si deve sostituire l'angolo rifrangente di 90° a quello di 60°. Il che non è fuori di ragione; mentre gli aghetti di ghiaccio si offrono talora in prismi esagonali a basi piane. Ora in questi vi sono 12 angoli di 90° formati dalle due basi colle sei facce laterali; e

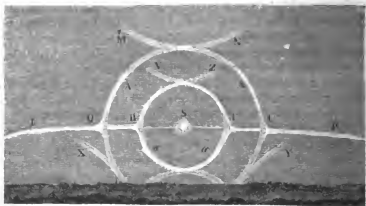



Fig. 72.

la minima deviazione per un tale angolo è 45°, 44′. La rarità poi delle basi piane combina colla rarità dei grandi aloni, la maggiore grandezza dell'angolo rifrangente concorda colla maggior separazione dei raggi, la piccolezza delle basi piane si concilia colla minor vivezza dei colori: insomma l'ipotesi coincide anche col fenomeno dei grandi aloni. III. Posto che l'atmosfera sia tranquilla, come avviene in occasione degli aloni, la maggior parte degli aghi di ghiaccio saranno costretti dalla resistenza dell'aria a cadere verticalmente. Allora lo splendore dell'alone riuscirà più vivace a ciascuna estremità del diametro orizzontale; il quale per conseguenza terminerà un poco all'esterno in due chiazze splendide

Digitized by Google

(B,T), le quali non sono infine che i parelii del piccolo alone. IV. Quelli poi del grande (Q,U) possono essere prodotti dai raggi che, avendo subite due deviazioni minime del medesimo senso in due prismi verticali, daranno una deviazione totale uguale alla somma delle due deviazioni, e quindi proietteranno l'imagine del Sole a una distanza doppia del 22°, ossia a circa 46°. v. Sono analoghe le spiegazioni delle altre meteore di questo genere; quali sono gli archi tangenti (MN,XY), il cerchio parelico (CP), l'antelio (S), i parantelii, le colonne verticali, e i paraseleni 1.

31. Spiegazione della colorazione dei corpi. — I. DEFINIZIONI. 1ª Quella porzione di luce che, imbattendo in un corpo tendente al nero vuoi opaco, vuoi diafano, non è nè diffusa, nè riflessa, nè trasmessa, dicesi *assorbita*: ed il fatto à nome *assorbimento*.

2ª Suole denominarsi *indice di trasparenza* la maggiore o minore quantità di luce, che può essere trasmessa da un dato corpo più o meno trasparente.

3ª Un corpo, il quale traguardato in una direzione mostri un colore, e in un' altra ne manifesti uno diverso, da δίς *due volte*, e χρόα *colore*, è detto *dicroico*; e *dicroismo* dicesi il fatto.

II. PROPOSIZIONE. *La colorazione dei corpi opachi o diafani non è che una parziale diffusione o trasmissione.*

Dichiarazione. Questa proposizione significa che un corpo intanto mostra il tale colore, in quanto o lascia passare, o diffonde per riflessione irregolare i raggi di un dato colore a preferenza di tutti gli altri, cui esso estingue o, come dicono, assorbe.

Dimostrazione. Innanzi tutto s'à da provare che queste parziali diffusioni e trasmissioni non sono una pura ipotesi, ma una verità suggerita dai fatti ; e quindi che esse bastano a spiegare tutti i fenomeni della colorazione dei corpi. Ora le seguenti considerazioni dimostrano l'una e l'altra cosa. 1. Principieremo dal ricordare quell'avvertenza, che fu già fatta generalmente per tutte le proprietà particolari, ed è che la diafanità

1 Chi desiderasse una più compiuta, sebbene succinta, esposizione di tali spiegazioni ricorra al Traité élémentaire de Physique par Daguin; donde sono tratti questi cenni sugli aloni.

Digitized by Google

e la opacità non significano la trasparenza perfetta, o l'assoluta impossibilità fisica del passaggio della luce a traverso di un dato corpo. Infatti l' oro è opaco, eppure ridotto a foglietti sottili lascia passare un poco di luce; l' acqua è diafana, ma per un suo strato grossissimo la luce non passa; su di un' alta montagna si veggono più stelle, che dalla valle; il Sole può impunemente rimirarsi all'orizzonte, quando cioè la sua luce traversa uno strato più spesso e denso d'aria. Anzi queste proprietà medesime possono variare in un medesimo corpo, col solo cangiarsi della disposizione delle sue particelle, e secondo l' uniformità o difformità delle rifrazioni che soffre la luce nell'interno dei corpi. Dappoichè il cronne ridotto in polvere diviene opaco, ma poi ritorna diafano, se vi si mesca un liquido dotato della medesima rifrangenza; l'idròfana diviene semitrasparente nell'acqua, e la carta nell'olio; ed in generale i corpi cristallizzando divengono diafani: serva d' esempio il diamante, il quale non è che carbone cristallizzato. II. E venendo più dappresso al nostro tema, non vi à corpo perfettamente acroico; il che significa che ogni corpo di fatto assorbe qualche colore a preferenza di ogni altro. E questo assorbimento, come dimostra Herschel, non avviene alla sola superficie, ma anche nell'interno dei corpi o diafani od opachi. La soluzione d'oro, nell'acqua regia concentrata, ad 8 pollici di grossezza è rossa o ranciata; coll'assottigliarla successivamente diventa gialla, poi verde, quindi azzurra, e infine di color indaco. In generale un colorato prende un colore tanto più cupo, quanto è più grosso, e viceversa: tantochè la schiuma di ogni liquido, la polvere di ogni solido colorato, il vetro scuro soffiato in bottiglie finissime diventano bianchi. III. Il colore cangia colla temperatura e colla disposizione delle particelle. Brewster cita varii esempi di minerali trasparenti, che riscaldati di rossi divengono verdi, e raffreddati di nuovo ritornano rossi, senza aver subito veruna alterazione chimica. Il sevo allo stato solido è bianco, e diventa torchino col fonderlo. Il cloridrato di palladio si vede rosso carico lungo l' asse, e verde brillante nella direzione trasversale. IV. Spesso il colore trasmesso è diverso da quello riverberato per

Digitized by Google

le diffusioni; una sottil lastra di marmo di Carrara è bianca per diffusione, e per trasmissione è giallognola; la soluzione acidula di chinina è per diffusione azzurra, per trasmissione bianca. Per diffusione l'oro è giallo, e la tintura di legno nefritico è azzurra; per trasmissione invece il primo è verde; e la seconda è rossa. v. Tutti i corpi, qualunque ne sia il colore che mostrano veduti alla luce bianca, cangiano più o meno esposti a luci colorate, ed appariscono sempre di quel colore dello spettro a cui vengono esposti: ma la loro tinta acquista maggior vivezza e diviene tanto più accesa, quanto è maggiore la sua analogia col calore dei raggi dello spettro: al contrario, quanto quella analogia è minore, tanto la loro tinta diviene più pallida e smorta, fino al punto da divenir neri certi corpi che avrebbero d'altronde un colore assai gaio. Maiocchi, sovrapponendo un vetro rosso ad un altro azzurro preparatigli da Consoni, impediva affatto ogni trasmissione. La tintura violacea di girasole, e quella di ambra gialla, poste in cassette quadrangolari ed accoppiate, dànno un sistema opaco.

III. scolii. 1° Si vede da tutto ciò che non solo ai varii corpi può appartenere un diverso indice di trasparenza, direi quasi, generale; ma che questo indice è anche diverso in un corpo stesso per i raggi di colore diverso. Anzi questo è vario non solo pei diversi raggi, ma ancora pei diversi mezzi, come pure per la temperatura, e per la disposizione moleculare.

2° Supposto costante quest' indice in ciascuna lama di uguale grossezza di un dato mezzo, ossia supposto che in ciascuna di queste lame il raggio perda la stessa parte aliquota della sua intensità, la luce trasmessa varierà in ragione geometrica, quando la grossezza varia in ragione aritmetica. Così s' intende la opacità che proviene dalla grossezza del mezzo diafano; la bianchezza di tutti i corpi colorati finissimi, nei quali la diversità degli indici di trasparenza pei diversi colori dee dirsi infinitesima; ed anche il cangiamento di tinta colla grossezza, purchè si aggiunga la considerazione che i diversi colori dello spettro ànno una facoltà rischiarante diversa, maggiore i gialli, poco minore

Digitized by Google

i verdi, minore ancora gli aranciati, e via dicendo; e finalmente si spiegano le righe scure dello spettro per un assorbimento di certi raggi avvenuto o nell'atmosfera che circonda gli astri, o nelle molecole stesse frammiste alle fiamme, donde emana la luce.

3° È stata anche cercata la spiegazione dell'assorbimento, ed è stato detto che la trasparenza dipende dal minor numero di riflessioni dei raggi nell'interno dei corpi. E veramente due corpi di diverso potere rifrangente meschiati insieme, come vetro polverizzato nell'aria, dànno molte riflessioni interne e divengono opachi. Si è anche detto che queste riflessioni, del tale piuttosto che del tal altro colore, provengono dalla disposizione, e giacitura delle lamine che costituiscono un corpo; e che però una goccia d'olio, che cada sopra un panno bianco, in tanto macchia, in quanto depone nei pori del panno delle laminette, che non diffondono o riflettono più tutti i colori dello spettro.

4° Si è domandato ancora se intanto i corpi sieno diafani, in quanto la luce passa pei loro pori. Herschel à risposto che no: e con certe sperienze à creduto poter dimostrare che, se un foglietto d'oro è semitrasparente, ciò avviene perchè la luce passa proprio per le molecule o per gli atomi solidi dell'oro medesimo.

5° Conservati così i colori ai diversi raggi della luce, siamo giunti ad una spiegazione soddisfacente della colorazione dei corpi, dello spettro e di qualche pirometeora. Platone avea creduto che i colori fossero prodotti da una fiamma, che scaturisse dai corpi. Aristotile li riguardava come una meschianza del nero col bianco; e veramente, considerando il nero come prodotto dall'assorbimento di tutti i raggi, ed il bianco come risultante dalla diffusione imparziale parimente di tutti i colori, potrebbero dirsi una parziale nerezza. Ma era impossibile dare la teorica dei colori prima che Monsignor De Dominis Vescovo di Spalatro ritrovasse i fenomeni della dispersione, e prima che Newton li promulgasse ed illustrasse colle sue dotte scoperte. Se non che può domandarsi: ma i raggi stessi della luce sono poi essi medesimi colorati? Per astenerci da ogni considerazione metafisica,

secondo la quale il colore, non essendo altro che qualche cosa di relativo, è una pura sensazione dell' animo prodotta (già s'intende) dall'azione del corpo nostro sullo spirito, e da quella dei corpi, che diciamo colorati, sul nostro; ci contentiamo di fare avvertire che la Fisica non à verun bisogno di ammettere la colorazione della luce. Basta che i raggi, i quali producono la visione dei diversi colori, ed i quali certamente differiscono fra loro per la diversa rifrangibilità, facciano una diversa azione sulla retina; perchè nascano quelle diverse modificazioni fisiologiche (certamente non colorate) prima sul nervo ottico, e finalmente sul cervello, le quali, secondo le leggi a noi ignote del commercio psicologico, sapientissimamente preordinate dalla infinita Intelligenza del Creatore, sieno atte ad eccitare nell' animo quelle reazioni, che costituiscono la sensazione dei diversi colori. Comunque ciò sia, è impossibile pensare alla pura ricreazione e sollievo, che ci arreca la gaiezza e varietà dei colori de'fiori, dei drappi, delle pitture, senza che nasca in un cuore ben fatto un sentimento di gratitudine alla divina Bontà.

ARTICOLO V.

INTERFERENZE, POLARIZZAZIONE, E SISTEMI OTTICI.

32. Diffrazione e anelli colorati —. La legge del cammino rettilineo della luce (**4.**) soffre, in certe determinate circostanze, delle eccezioni. Giacchè talora le ombre dei corpi, invece di essere terminate in linee taglienti, sono orlate di tre o quattro liste colorate nella regione della luce piena (**4.** II. 3ª), e talora anche la loro stessa regione apparisce spartita in nastri chiari e scuri. Qualche volta avviene ancora che la luce nel trapassare delle laminette sottili trasparenti, come le pareti delle bolle di sapone, produca tanti circoli concentrici chiari e scuri, o anche variamente colorati. È di questi fenomeni appunto, che passiamo a trattare.

I. DEFINIZIONI. 1ª Le liste chiare e scure, o anche variamente colorate, le quali si formano vuoi nella regione del-

Digitized by Google

l'ombra, vuoi in quella della luce piena, diconsi *frange*; *interne* le prime, ed *esterne* le seconde.

2° Il distribuirsi, che fa la luce in frange o interne o esterne à avuto nome *diffrazione*.

3° Si distingue la regione, in cui (secondo le leggi del cammino rettilineo) dovrebbe essere l'ombra, da quella in cui essa trovasi di fatto per la diffrazione, dando l' epiteto di *geometrica* a quella, e di *fisica* a questa.

4° Quegli anelli chiari e scuri, oppure colorati, i quali appariscono nelle lame trasparenti assai fine, sono chiamati *anelli colorati*, ed anche *fenomeni delle lamine sottili*.

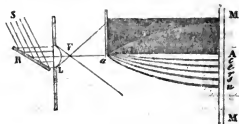



Fig. 73.

II. scolii. I caratteri, e le condizioni dei fenomeni della diffrazione, scoperta dal p. Grimaldi di Bologna nel 1663, e degli anelli colorati, studiati primieramente da Newton, esporremo nei seguenti scolii.

1° Si fa entrare in una camera oscura (fig.73.) un fascio di luce (SR), dopo avergli fatto traversare prima un vetro rosso, e poi una lente (L) a corto fuoco (F); e ad una certa distanza gli si fa lambire l'orlo finissimo e rettilineo di una lastra opaca (*a*), e finalmente si riceve sopra un cartone o vetro smerigliato (MM'). Si osserva dalla parte dell'ombra (AM') una luce debole, che va ad estinguersi a grande distanza: dall' altra parte poi si veggono delle frange alternamente splendenti e scure, tutte parallele all' orlo dell'opaco, le quali a mano a mano spariscono nella luce piena.

2° Se invece della lastra opaca si interponga, fra il fuoco della lente ed il cartone, un capello, oppure un filo metallico finissimo, se ne ànno delle frange esterne identiche a

quelle dell' esperienza antecedente; e nell' ombra geometrica si veggono le frange interne più ristrette.

3° Ove poi al filo sostituiscasi una finissima lastrina metallica, nella quale sia stata fatta una fessura rettangolare, assai stretta; il fascio è dilatato: e a destra e a sinistra si veggono frange alternamente scure e lucide.

4° Le frange prodotte dalla luce violetta sono le più strette e le più vicine all' ombra geometrica; tutte le altre sono più larghe e piu lontane a seconda della loro minore rifrangibilità. Il che spiega perchè la luce bianca produca frange non chiare e scure, ma variamente colorate. Dacchè il violetto dee venir meno pel primo, ed il rosso per l' ultimo.

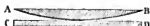



Fig. 74.

Fig. 75.

5° Le frange sembrano nascere all'orlo dell'opaco, e propagarsi alla maniera di *iperboli*, la linea media delle quali è quella (FA), che congiunge il foco della lente coll'orlo dell'opaco, ed il cui vertice passa sensibilmente pel detto orlo (*a*). La posizione dei fuochi di queste iperboli dipende dalla distanza fra il punto luminoso e l'opaco, dalla luce impiegata, e dall' ordine delle frange.

6° Uno specchio, che riceve un fascio di luce, offre il fenomeno della lastra opaca se è largo, quello della fessura se è ristretto. Come pure una superficie rigata, come lo è naturalmente la madreperla, produce per luce riflessa i fenomeni medesimi.

7° Si posi (fig.74.) una lente (AB) di lungo raggio su di un vetro piano (CD), e vi si faccia cadere sopra un fascetto di luce omogenea. Al punto di contatto dei due vetri si vedrà (fig.75.) una macchia nera cinta di un cerchio lucido, e intorno a questo altri anelli alternamente scuri e luminosi.

8° Se invece vi si faccia cadere della luce bianca, la

Digitized by Google

macchia nera si vedrà cinta da più serie di bei colori, giallo, rosso, violetto, azzurro,.....

9° Guardando i vetri per luce trasmessa, la macchia centrale apparisce chiara, e tutti gli anelli, che sono scuri per luce riflessa, si veggono colorati omogeneamente per la trasmessa, e viceversa; e la successione dei colori, che si ottengono quando la luce incidente è bianca, è inversa all'antecedentemente descritta.

10° Newton trovò che i quadrati dei diametri degli anelli lucidi stanno fra loro, come la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7....; e quelli degli scuri, come la serie dei pari 2, 4, 6,... Dal che si conclude che, siccome le grossezze

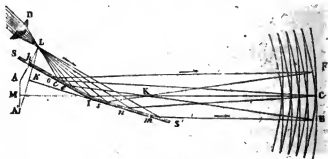



Fig. 76.

degli strati aerei compresi fra i vetri e corrispondenti ai diversi circoli colorati o scuri, sono come i quadrati dei diametri, così quelle grossezze seguono del pari la ragione dei numeri dispari e pari.

11° Lo stesso provò che questi anelli ànno la minima larghezza coll'incidenza normale, e si dilatano coll'aumentare l'obliquità dell'incidenza.

12° Gli anelli di ciascun colore crescono gradatamente di diametro, come diminuisce la loro rifrangibilità. Altra legge proposta da Newton.

83. Interferenza. I. SCOLII. 1° Non molto dissimili ai sopra descritti sono i fenomeni, che si ottengono per la luce, la quale (fig.76.) si spicca da un punto lucido, o dal fuoco

di una lente (L), ed è riflessa da due specchi (SI,S'I) pochissimo inclinati fra loro. Infatti anche in questo caso, accogliendo la luce riflessa sopra un corpo (FB) capace di diffonderla, si veggono su di esso le solite frange (F,B,C).

2° Ad intendere i caratteri distintivi di questi nastri, dal punto luminoso L, o dal fuoco L della lente, si abbassi una perpendicolare L*h* sullo specchio SI, e si prolunghi altrettanto al di là dello specchio medesimo, cioè fino ad A. Parimente dallo stesso punto L si abbassi e si prolunghi altrettanto, cioè fino ad A', un'altra perpendicolare L*k* sull'altro specchio S'I. In A ed in A' si ritroveranno le due imagini del punto lucido L. Congiunto pertanto il punto A con A' per la AA', e divisa questa per metà in M, si conduca una retta MIK, la quale partendo da M trapassi per la intersezione I dei due specchi. Or bene: le frange, che si ottengono per luce omogenea, I. sono parallele all'intersezione I dei due specchi; II. sono simmetriche al di qua e al di là del piano MK, in cui giace la detta intersezione ed il punto M; III. ànno gli assi su delle iperbolī, i fuochi delle quali giacciono sulle dette imàgini A ed A', ed il centro comune è sul detto punto medio M.

3° La distanza fra una frangia e l'altra è varia per i diversi colori dello spettro. Donde la spiegazione delle frange colorate nel caso, che la luce incidente sia bianca.

4° Ma quello che più sorprende si è che intercettando i raggi, i quali si avviano ad uno dei due specchi, spariscono tutti i nastri, la luce si diffonde con minore intensità di quella delle frange luminose, ma uniformemente. Il che mostra come il fenomeno provenga da un'azione, la quale si esercita dai raggi riflessi da uno specchio su quelli riflessi dall'altro.

II. DEFINIZIONE. Il fenomeno delle frange, ottenute per la luce riflessa da due specchi, fu chiamato *interferenza*.

III. PROPOSIZIONE. *Le frange prodotte dalla luce omogenea riflessa da due specchi, che stanno quasi per dritto fra loro, sono chiare là ove la differenza del cammino della luce è pari; dove poi tal differenza è dispari, sono scure.*

Dimostrazione. Questa per chiarezza divideremo in tre parti.

1ª Un punto qualunque, per esempio K, della retta MC, la quale passa proprio in mezzo alle due imagini e per la intersezione degli specchi, dista ugualmente dall'una, e dall'altra delle due imagini A ed A'. Dappoichè AA' è la corda del circolo (**11**. I. 2ª), che passa pel punto lucido e per le imagini, ed à il suo centro nella intersezione degli specchi, certamente la retta IM, che parte dal centro I di quel circolo, e va al punto medio M della corda AA', deve essere perpendicolare alla corda stessa. Dunque i triangoli MKA, MKA' sono uguali; perchè sono rettangoli, ed ànno uguali i due cateti AM, ed A'M, e comune l'altro MK. Per conseguenza saranno uguali anche le ipotenuse AK ed A'K; e però ogni punto della MC equidista da A', e da A. Ond'è che il raggio luminoso L*c*, il quale, quando è riflesso da SI, trapassa in C la MI, ed il raggio L*n*, il quale, dopo essere stato riflesso da S', passa parimenti per C, percorrono due strade uguali. Imperocchè L *c* con *c*C dànno la stessa somma che A*c* con *c*C; ossia uguagliano tutta la AC: ugualmente la somma di L*n* con *n*C uguaglia la somma di A'*n* con *n*C, cioè tutta la A'C. Ora AC è uguale ad A'C. Dunque la somma di L*c* con *c*C pareggia la somma di L*n* con *n*C. Ora di fatto la frangia centrale, quella cioè che formasi in C, è chiara.

2ª Considerando i due raggi L*e*B, ed L*m*B, i quali pervengono sulla prima frangia oscura, facilmente si dimostra, che vi giungono dopo aver percorse due strade disuguali. Imperocchè L*e* con *e*B uguaglia la somma di A*e* con *e*B, ossia tutta la AB; come pure le due somme di L*m* con *m*B, e di A'*m* con *m*B sono uguali alla stessa A'B. Ma il punto B sta fuori della MC, non può dunque equidistare da A, e da A'. Per conseguenza AB deve essere maggiore o minore di A'B. Se la differenza, che passa fra queste due rette, chiamisi $\frac{\lambda}{2}$; si vedrà che di fatto ogni altra frangia scura si ritrova là, ove tal differenza è rappresentata da qualche termine della serie $1.\frac{\lambda}{2},\ 3.\frac{\lambda}{2},\ 5.\frac{\lambda}{2},\ 7.\frac{\lambda}{2},\ \ldots$

Digitized by Google

3° Mantenendo la stessa denominazione per la detta differenza, risulta dal fatto che le frange chiare trovansi in tutte quelle linee, nelle quali tal differenza è rappresentata da qualcuno dei termini della serie $0.\frac{\lambda}{2}$, $2.\frac{\lambda}{2}$, $4.\frac{\lambda}{2}$, $6.\frac{\lambda}{2}$, ...

III. COROLLARII. 1° Dunque luce aggiunta a luce talora dà tenebre. Infatti le frange scure allora soltanto appariscono, quando la luce è riflessa da ambidue gli specchi, come è stato annunciato superiormente (I. 4°).

2° Dunque l'interferenza consiste in ciò, che i raggi talora nell'incontrarsi a vicenda si rinforzano, talora s'indeboliscono. Dacchè è un fatto, che lo splendore di essi aumenta (cioè allo splendore dei raggi riflessi da uno specchio si addiziona quello dei raggi riflessi dall'altro) dovunque la differenza del loro cammino è pari: all'incontro il loro splendore diminuisce (ossia i raggi riflessi da uno specchio distruggono od elidono quelli riflessi dall'altro) colà dove la differenza del loro cammino è dispari. Con ciò si vede anche meglio la proprietà del nome di interferenza, imposto da Young a questa classe di fenomeni.

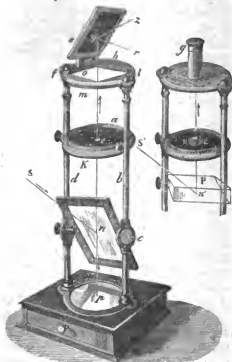
3° Dunque la diffrazione proviene da interferenze. Infatti Young osservò che nella diffrazione prodotta da un filo metallico (**32.** II. 2°) spariscono affatto i nastri interni, coll'arrestare (per mezzo di una lastra opaca) tutta la luce, che lambisce uno dei lati del filo. Secondo la teoria di Newton (oramai universalmente abbandonata) è la sostanza opaca, la quale per la sua attrazione e ripulsione produce la diffrazione. Ora per impedire questa o distruggerla, è indifferente, che la lastra (destinata ad arrestare i raggi, che rimangono da uno dei due lati del filo) si ponga prima o dopo, che il fascetto à lambito l'orlo dell'opaco, su cui la luce si diffrange. Dunque la cagion vera di questo fenomeno dev'essere quell'influenza, che esercitano l'uno sull'altro i raggi lucidi, per rinforzarsi o distruggersi a vicenda, secondo che s'incontrano dopo una piccola e determinata differenza di cammino o pari o dispari: in una parola, dev'essere una interferenza.

Digitized by Google

4° Dunque gli anelli colorati, o i fenomeni delle lamine sottili, non sono che interferenze. Ad accertarci, che questi derivano dal mutuo influsso dei raggi riflessi, altri dalla prima, ed altri dalla seconda superficie della lamina trasparente sottile, si avverta che tutte queste apparenze cessano, ove si renda impossibile una delle due dette riflessioni. Per lo che la interferenza, la quale d' altronde è provata dai fatti, è sufficiente a spiegare il fenomeno; e però dee ritenersi per la sua vera cagione.

Fig. 77.

34. Fenomeni fondamentali della polarizzazione. — I. Scolii.

1° Si faccia cadere (fig. 77.) un fascetto (S*n*) di luce sopra uno specchio diafano (*n*) costituito da una lastra di vetro; la quale abbia tale obliquità, che l' angolo d' incidenza riesca uguale a 50° in 60°, e di più la porzione di luce (*np*), che viene riflessa dalla medesima, discenda verticalmente sopra uno specchio orizzontale (*p*), opaco, di vetro amalgamato. Ciò fatto, il raggio riflesso verticalmente dallo specchio orizzontale (*p*), e trasmesso dalla sopraddetta lastra (*n*) obliqua, si accolga sopra uno specchio nero (*s*), inclinato parimente di un 50° o 60° verso il raggio medesimo (*pq*). Se lo specchio nero (*s*) è collocato in modo che il piano d' incidenza seconda (*pqr*) sia normale a quello d' incidenza

prima (*Snp*), sullo specchio stesso (*s*) non accade riflessione, o se pur vi accade, è debolissima. Ma poichè lo specchio (*s*) nero si suppone fissato ad un disco metallico aperto, come un diaframma, ossia ad un sostegno (*o*), il quale possa girare orizzontalmente dentro un anello o cerchio graduato (*mlh*) posato sulle colonne stesse (*b*, *d*), che portano lo specchio opaco e il diafano; così è che facilmente potrà girarsi il detto specchio nero (*s*) intorno al raggio verticale (*pq*), affinchè il piano d'incidenza seconda (*pqr*), rimanendo sempre verticale, e passando costantemente per un segnetto (*o*) fatto sul disco (che è chiamato *linea di fiducia*), prenda tutte le possibili posizioni, ossia scorra successivamente per tutti i gradi del circolo (*fmlh*). Il quale scorrimento sarà misurato dal grado, a cui risponde la linea (*o*) di fiducia. Or bene: si principii a far passare la linea di fiducia dal 90° (ossia *f*), su cui si trovava fin qui, sul 91°, 92°, 93°,... della graduazione medesima; ed ecco apparire la seconda riflessione (*qz*), poi rinforzarsi, e giungere al massimo d'intensità, quando la linea di fiducia è sul 180° (o incontro ad *h*), ossia quando lo specchio nero (*s*) diviene parallelo al diafano (*n*), e i piani delle due incidenze coincidono. Ma poscia col seguitare a volgere lo specchio, la riflessione seconda comincia ad indebolirsi; e quando la linea di fiducia perviene (in *l*) al 270°, e però lo specchio resta in una posizione simmetrica alla primiera (cioè a quella della figura), di nuovo la luce o non è più riflessa affatto, o lo è pochissimo. Dopo, seguitando a girare lo specchio, la luce di seconda riflessione ritorna ad accendersi, acquista l'intensità massima, quando la linea di fiducia sta sullo zero (in *m*); e finalmente ritorna ad estinguersi a mano a mano che la linea di fiducia viene più avvicinandosi al 90°; e quindi ritornano i fenomeni medesimi.

2° Si tolga ora lo specchio (*s*) nero, e vi si sostituisca un tubo (*g*) racchiudente nella stessa giacitura obliqua una lastra di vetro diafana, o meglio un sistema di più lastre diafane parallele fra loro, cui chiamano *pila;* la luce sarà trasmessa. Ma girando la pila, come si girò lo specchio, la luce trasmessa diminuisce, e a 180° non sarà trasmessa più, o almeno non lo sarà completamente. Al di là di 180° tornerà ad

esserlo parzialmente; a 270°, o nella posizione opposta alla primiera, la luce è trasmessa pienamente; a più di 270° diminuisce di nuovo, e a zero ritorna minima un' altra volta; quindi riprincipia ad aumentare, finchè a 90° se ne trasmette la massima quantità.

3° Alla pila di lastre si sostituisca uno spato d' Islanda, avente dapprima il suo asse ottico nella direzione di quel diametro del cerchio (*fmlh*), che passa pel 90° e pel 270°. Della luce riflessa dai due specchi (*n*, *p*), ed incidente sullo spato, non ne è trasmessa che la straordinaria; col girare come sopra, va estinguendosi la luce straordinaria ed accendendosi l' ordinaria; quindi dopo 45° di rivoluzione, o sul 135°, sono ambidue ugualmente intense; poscia segue ad estinguersi la straordinaria, e ad accendersi di più l' ordinaria, cosicchè sul 180° non è accesa che questa; seguitando a girare viene estinguendosi l' ordinaria ed accendendosi la straordinaria; a 225° le due luci sono uguali in intensità; ma poi a mano a mano affievolendosi quella, e rinforzandosi questa, la prima si smorza affatto, e la seconda prende la intensità massima; e proseguendo a girare ritornano da capo i medesimi fenomeni.

4° Invece di far riflettere la luce dallo specchio diafano, si accolga essa in un prisma (P); e poi si rinvii, dopo una riflessione totale uguale all' antecedente, allo specchio nero (*s*), oppure si faccia traversare la pila di lastre (*g*), o un cristallo birifrangente. In tal caso, comunque si giri o lo specchio, o la pila, o il cristallo, si à sempre la riflessione, la trasmissione, e la birifrazione. Altrettanto avviene ove si trovi il modo di far pervenire o al cristallo, o alla pila, o allo specchio, sotto la stessa incidenza, la luce vuoi diretta ed emessa per esempio dal Sole, vuoi riflessa dallo specchio amalgamato (*p*).

5° Se l'angolo di prima incidenza non sia quello che abbiamo detto, non abbia cioè un valore di 55° circa, i fenomeni descritti accadono ancora, ma sono tanto meno spiccati e sensibili, quanto più quell' angolo à un valore o maggiore o minore del sopraddetto. Il che dee intendersi dello specchio diafano di vetro: perchè se questo facciasi di una so-

stanza diversa, varia anche l'angolo, sotto cui le apparenze sopra descritte riescono più manifeste.

II. COROLLARII. 1° Dunque la luce riflessa dallo specchio diafano è diversa dalla luce diretta, o anche totalmente riflessa, o riflessa da uno specchio amalgamato. Dacchè non questa luce, ma quella offre i fenomeni che abbiamo esposti or ora.

2° Dunque la diversità che passa fra la luce riflessa dalla lastra diafana, e le altre sopra enunciate, consiste in ciò, che ciascun fascetto di queste mostra le stesse proprietà in ogni suo lato; ma il fascetto di quella à nei lati o linee longitudinali certe doti, che ritornano le stesse per ciascuna coppia di linee diametralmente opposte, e sono diverse ed anche contrarie per ciascuna coppia distinta.

3° Dunque tale varietà di prerogative sta principalmente in questo: I. che il fascetto in due lati opposti non è riflessibile, nè birifrangibile per la sezione principale (27. II. 7°); ma è trasmissibile, e, quanto al suo raggio ordinario, è rifrangibile anche nella detta sezione; II. in due altri lati opposti fra loro, ed equidistanti dai due primi, non è trasmissibile, nè birifrangibile nella sezione stessa; ma è riflessibile, e rifrangibile col fascetto straordinario: III. in quattro altri lati esattamente interposti ai quattro sopraddetti è birifrangibile. In altri termini: diviso (fig.78.) il contorno del fascetto (la figura ne mostra la sezione trasversale) in otto punti (a,h,d,f,b,g,c,e) equidistanti, due punti (a, b) stanno nelle linee dotate di riflessibilità, intrasmissibilità, rifrangibilità ordinaria ed irrifrangibilità straordinaria per la sezione principale: due altri (c,d) distanti 90° dai primi giacciono sui lati del fascio dotati di irriflessibilità, trasmissibilità, irrifrangibilità ordinaria e rifrangibilità straordinaria nella sezione stessa: quattro altri (e,f,g,h), intermedii ai sopraddetti, mostrano i fianchi, nei quali il fascio è riflessibile, trasmissibile, e birifrangibile nella medesima sezione.

Fig. 78.

III. DEFINIZIONI. 1° La luce, che offre tali particolarità nei

suoi diversi lati, chiamasi *polarizzata*: ed il fenomeno stesso à nome *polarizzazione* 1.

2ª Per distinguere la luce polarizzata da quella che non lo è, questa si dice *luce comune*, *neutra* ed *ordinaria*.

3ª Lo specchio diafano, per la cui riflessione la luce rimane polarizzata, riceve il nome di *polarizzatore* e *polariscopio*.

4ª Si dice *analizzatore* lo specchio nero, la lastra o pila di lastre diafane, e lo spato d' Islanda, quando servono a mostrare i caratteri della luce polarizzata.

5ª Il piano, in cui la luce polarizzata si mostra più che in ogni altro riflessibile, intrasmissibile, rifrangibile ordinariamente, e straordinariamente irrifrangibile, dicesi piano di *polarizzazione*.

6ª Il complemento di quell' angolo d' incidenza, sotto cui un raggio rimane totalmente, o massimamente polarizzato, si appella *angolo di polarizzazione* 2.

7ª Si consideri il piano (nqr) formato dall' asse (nq) del fascetto polarizzato coll' asse ottico dell' analizzatore birifrangente, oppure con una perpendicolare (qr) sollevata dal piano dell' analizzatore riflettente o trasmittente. In altri termini: si consideri la sezione principale di un cristallo birifrangente, analizzatore, oppure il piano d' incidenza per un analizzatore specchio o pila. Questo piano fa con quello di polarizzazione un angolo, che chiamasi *azzimutto*.

8ª La macchina (fig.77.), colla quale abbiamo supposto fin qui che si facessero le sperienze della polarizzazione, è detta *apparecchio di Noremberg*.

IV. SINOSSI. I caratteri della luce polarizzata possono ora enunciarsi colle seguenti proposizioni.

1ª La luce totalmente polarizzata, ed analizzata da uno specchio, à l'intensità massima sotto l'azzimutto uguale a 0°; diminuisce coll' aumentare dell' azzimutto, ed è nulla, quando

1 Prescindendo da una certa ipotesi adottata dapprima a spiegare il fenomeno e dalla quale fu tratta la detta denominazione, questa, considerata come un semplice nome imposto al fatto, è abbastanza filosofica: perchè sogliono sempre in Fisica dirsi *polari* le proprietà, che danno risultati opposti in opposte direzioni.

2 Questo è 35°, 25′ pel vetro; 37°, 15′ per l'acqua; 32°, 28′ pel quarzo.

Digitized by Google

questo vale 90°; poi aumenta coll' azzimutto, ed è massima di nuovo a 180°, e da capo.

2ª La medesima analizzata da una pila di lastre è poco o nulla trasmessa sotto l' azzimutto 0°; aumenta in intensità coll' azzimutto, e giunge al massimo quando questo è 90°; diminuisce poscia al crescere dell' azimutto medesimo, e giunge al massimo nel 180°; e così di nuovo.

3ª Se l'azzimutto è 0°, oppure 180°, il raggio ordinario di uno spato analizzatore à intensità massima, e nulla lo straordinario; coll' aumentare dell' azzimutto si va estinguendo il raggio ordinario e viene accendendosi lo straordinario, cosicchè a 45°, e 125° i due raggi mostrano la medesima intensità, ed a 90°, e 270° l' ordinario à intensità nulla, e massima lo straordinario; seguitando ad aumentare ancora il solito angolo, principia ad estinguersi il raggio straordinario, e si va accendendo l'ordinario, talchè a 135°, e 315° ambidue raggiungono la stessa intensità, e finalmente a 180°, e 0° da capo come sopra.

35. Polarizzatori. — Per non complicare troppe cose insieme abbiamo fin qui limitato il discorso alla sola polarizzazione, che si ottiene per mezzo della riflessione: ma ora è tempo di estendere il discorso a tutti i modi, coi quali la luce riceve questa singolare modificazione.

I. PROPOSIZIONE. *La luce viene polarizzata per riflessione, per rifrazione, e per birifrazione; ma in piani diversi.*

Dimostrazione della 1ª parte. Tutto quello, che è stato detto nel paragrafo antecedente, dimostra che la luce può restare polarizzata allor quando viene riflessa da uno specchio diafano. Ma lo stesso accadrebbe se essa fosse riflessa dallo specchio nero, che fu adoperato finquì come analizzatore: nel quale la sostanza riflettente non è l'idrargiro, inetto a tal uopo, ma una vernice o un marmo nero. Dunque, ove si limiti il discorso alle riflessioni ordinarie (che sono le parziali, non le totali), e si escludano i riflessori costituiti da metalli (i quali sono poco atti a questo genere di azioni), può dirsi in generale, che nella riflessione la luce rimane polarizzata. E poichè, come abbiamo veduto, il raggio riflesso è riflessibile, intrasmissibile, e rifrangibile in sola luce or-

dinaria nel piano stesso della incidenza sullo specchio polarizzatore ; così dee dirsi che appunto in tal piano rimane polarizzata la luce per mezzo della riflessione.

Dimostrazione della 2ª parte. Non solo la luce riflessa dallo specchio diafano, ma anche quella da esso medesimo rifratta offre i caratteri della luce polarizzata. Infatti, se, invece (fig. 79.) di far cadere la luce incidente (Sn) sullo specchio polarizzatore, si accoglie sul cateto di un prisma (P) triangolare, e per mezzo di questo si inflette per riflessione totale ($n'g$), e si fa cadere (in e) su di una lastra diafana obliqua come il detto specchio; si vedrà che la luce, dopo aver trapassata questa lastra, è polarizzata. Dacchè analizzandola vuoi con uno specchio nero (s), vuoi con una pila di lastre (g), vuoi con un cristallo birifrangente (g), se ne otterranno tutti i fenomeni della luce polarizzata. La differenza sta in questo, che il piano di polarizzazione in tal caso è perpendicolare al piano d'incidenza sulla lastra polarizzatrice. Si avverta per altro, che i fenomeni saranno poco spiccati, quando la luce viene rifratta da una lastra sola; ossia la luce polarizzata con una sola rifrazione non si estingue sotto verun azzimutto, ma al più diminuisce sensibilmente in intensità. Che

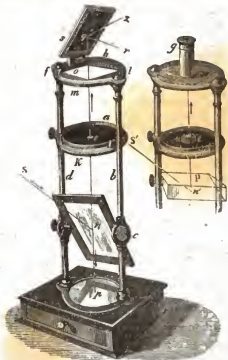



Fig. 79.

se all'incontro si faccia cadere la luce comune (quale è quella che viene riflessa totalmente dal prisma) sopra una pila, o sistema di lastre di vetro separate, ma parallele fra loro in guisa, che si moltiplichino le riflessioni a scapito della luce trasmessa; si ottiene finalmente una luce rifratta completamente polarizzata.

Dimostrazione della 3ª *parte*. Parimente la luce birifratta è sempre polarizzata. Dacchè, se la luce totalmente riflessa dal prisma si faccia traversare (in *e*) un cristallo di spato d' Islanda, il quale presenti alla luce una faccia piana parallela all' asse ottico, e poi si esamini coi tre detti analizzatori (collocati in *g*); si vedrà che il raggio ordinario offre i fenomeni della luce riflessa dallo specchio diafano, ed il raggio straordinario offre quelli della luce rifratta dallo specchio medesimo. Insomma si vedrà che il raggio ordinario è polarizzato nella sezione (**27**. II. 6ª) principale, e lo straordinario nella sezione (**27**. II. 7ª) perpendicolare.

II. COROLLARIO. Dunque i mezzi che servono a mostrare i fenomeni della luce polarizzata, ossia gli analizzatori, sono anche polarizzatori, producono cioè essi medesimi la polarizzazione.

III. SCOLII. 1° Sebbene, a dir vero, si osservi una qualche parziale polarizzazione anche nelle diffusioni, questo non dee dirsi un modo originario: perchè pare che ogni riflessione (meno forse quella dei metalli) polarizzi la luce; e la diffusione può considerarsi come una riflessione in tutti i sensi dipendente dalla scabrosità della superficie diffondente.

2° Quanto al valore dell'angolo di polarizzazione può dirsi in generale che, nel caso di polarizzazione massima per riflessione, il raggio riflesso è perpendicolare al raggio rifratto. Donde consegue che, pigliando per angolo di polarizzazione il suo complemento ossia il vero angolo d' incidenza, la tangente dell'angolo di polarizzazione è uguale all'indice di rifrazione [1].

3° Fra tutti gli analizzatori il più sensibile e comodo è

1 Questa deduzione, che serve a determinare l'angolo di polarizzazione per mezzo dell'indice di rifrazione, è legittimata da un facilissimo calcolo. Chiamisi p l'angolo di incidenza sullo specchio diafano nel caso di polarizzazione massima, r l'angolo di rifrazione, ed n l' indice

un cristallo birifrangente. Ma la coesistenza dei due raggi disturba le osservazioni. E però si è pensato di adoperare esclusivamente per analizzatori alcuni strumenti, o polariscopii, nei quali uno dei raggi è soppresso.

4° Due di questi sono detti prismi di Nicol. Ambidue sono costituiti da prismi di spato: ma in uno le cose sono disposte in modo, che il raggio ordinario, soffrendo una riflessione totale, venga deviato; e così resti nella direzione, in cui possono farsi gli esperimenti, il solo straordinario. Nell'altro poi il raggio straordinario viene rifratto verso la parete dell'incassatura opaca, ed è assorbito dalla tinta nera, ond'essa è ricoperta; e però rimane isolato ed acconcio ad essere osservato il solo ordinario.

5° Analogo al primo, ma più semplice è l'analizzatore naturale; costituito da una tormalina tagliata parallelamente all'asse. Questa è un cristallo birifrangente fatto naturalmente a lamine o scaglie. Il perchè la luce, nel trapassare la prima lamina e biforcarsi, rimane immediatamente polarizzata. Il che fa sì che il raggio ordinario non possa traversare la seconda lamina: appunto perchè, avendo il suo piano di polarizzazione nella sezione principale della tormalina medesima, non può essere trasmesso. Accade qui quello che accadrebbe, se si mettessero uno sopra l'altro due cristalli di spato d'Islanda colle sezioni principali parallele. La luce nel primo cristallo si birifrange e polarizza, ma pel secondo cristallo non può passare che il raggio straordinario, il quale è polarizzato normalmente alla sezione principale. È dunque trasmesso dalla tormalina il solo raggio straordinario. Per la qual cosa una lastra di tormalina è un polariscopio il più semplice ed opportuno.

6° Anzi il primo fenomeno di polarizzazione, che sia stato ben distinto, fu di questo genere; e l'osservò Malus l'anno **1810**, quando avvertì che la luce riflessa dalle lastre delle finestre

di questa: certamente $\frac{\text{sen.}p}{\text{sen.}r} = n$. Ma dal fatto $p + r = 90°$; e perciò $\text{sen.}\,r = \text{sen.}\,(90° - p) = \cos.\,p$. Dunque $\frac{\text{sen.}p}{\cos.p} = n$, ossia $\text{tang.}\ p = n$.

del Lussemburgo, non veniva trasmessa da una tormalina, la cui sezione principale avesse una certa determinata posizione. Fu allora che Malus medesimo introdusse il nome di polarizzazione, e che venne riportato a questa classe di fenomeni il fatto, già osservato da Huyghens, di due cristalli di spato sovrapposti, i quali or dànno quattro imagini, ed ora due solamente.

7° Conseguita dalle cose dette, che la tormalina è anche un buon polarizzatore. E veramente spesso si adopera e come analizzatore, e come polarizzatore. Infatti nelle così dette pinzette di tormalina (fig. 80.) si espone una delle due tormaline alla luce, e poi girando la seconda, dietro la quale sia stato collocato l'occhio, si avvertono i fenomeni sopra descritti pel raggio straordinario.

36. Fenomeni cromatici di polarizzazione. — Questi possono disporsi in tre classi: in quelli I. dei cristalli uniassi a facce parallele all'asse; II. degli uniassi a facce perpendicolari; III. dei biassi. A spiegarli poi si esige la cognizione delle leggi dell'interferenza dei raggi polarizzati; le quali costituiscono altri caratteri della luce polarizzata. Caratteri che non abbiamo esposto fin qui, vuoi perchè non sono principali come gli altri, vuoi perchè non s' ingenerasse confusione nella descrizione d'altronde assai complicata dei caratteri principali medesimi.

Fig. 80.

I. LEGGI. 1ª *Due raggi polarizzati in piani paralleli soffrono scambievoli interferenze non meno dei raggi di luce comune.*

2ª *Due raggi polarizzati in piani perpendicolari non interferiscono.*

3ª *Due raggi prima polarizzati in piani perpendicolari, e poi con un polariscopio ricondotti ad un medesimo piano, non interferiscono, purchè abbiano avuto origine da un fascetto di luce comune.*

4ª *Due raggi come sopra soffrono le interferenze, ove abbiano avuto origine da un fascetto di luce polarizzata.*

II. DEFINIZIONE. In una lamina birifrangente, tagliata parallelamente all' asse ottico, chiamano *assi neutri*, o *di depolarizzazione* due rette ortogonali fra loro, giacenti in essa, e frapposte a 45° fra la sezione principale e la perpendicolare.

III. SCOLII. 1° Sul solito apparecchio di Noremberg si ponga (in *g*) uno specchio, o pila analizzatrice in guisa, che si estingua tutta la luce polarizzata, e sotto di essa (in *e*) perpendicolarmente al raggio polarizzato si collochi una sottil lastra di mica, o di solfato di calce, sfaldata parallelamente al suo asse ottico. I. Se dapprima questo asse, o la sezione principale della lama fa col piano di polarizzazione un azzimutto di 90° o 270° (ossia passa per le colonne *b* e *d*), lo specchio (*s*) analizzatore sèguita a negare la luce riflessa. Ma se la lamina si gira, apparisce riflesso uno dei colori dello spettro, che è determinato dalla sostanza della lastra, e dalla sua grossezza; e che noi supporremo essere il rosso. In ogni caso per altro, dopo 45° di rotazione, il colore à acquistato la sua massima intensità; poi si oscura, e quando l'azzimutto è **180°** si estingue; e così da capo. Ecco il perchè del nome degli assi neutri, o di depolarizzazione. II. Se ora la lamina (*e*) si fermi sul **135°**, ossia coll' asse neutro nel piano di polarizzazione, e si cominci a far rotare lo specchio (*s*), il colore diminuisce parimente in intensità; e quando anche l' analizzatore è giunto sul **135°**, ogni colore è estinto; ma, seguitando a far rotare lo specchio, apparisce il color verde (e in ogni caso il complementare dell'antecedente). Il quale aumenta in intensità fino al **180°**, poi s'impallidisce; sul 225° si estingue; e quindi riapparisce il rosso, e così di sèguito. III. Se poi l' analizzatore invece di essere uno specchio fosse uno spato (*g*), posto colla sezione principale nel piano di polarizzazione, e si facesse girare orizzontalmente la lamina, non si vedrebbe che un'imagine sola bianca in quattro posizioni: l' ordinaria, quando la sua sezione principale coincide con quella dello spato; la straordinaria, quando le è perpendicolare. Ma in ogni altra posizione si ànno due imagini formate da colori, che sono evidentemen-

Fig. 81.

te complementari: perchè se avvenga (fig. 81.) che in parte si sovrappongano, ivi dànno il bianco. I quali colori raggiungono la massima splendidezza, quando gli assi di depolarizzazione coincidono colla sezione principale dello spato o col piano di polarizzazione: se poi lo spato si fosse posto colla sezione principale sul 90°, si sarebbero ottenuti i medesimi fenomeni; ma l' imagine ordinaria avrebbe preso il posto della straordinaria, e viceversa. Anzi, ancorchè lo spato avesse una posizione intermedia alle due sopraddette, si sarebbero ottenuti i fenomeni medesimi sotto i medesimi angoli delle due sezioni principali. IV. Che se tengasi ferma la lamina con un asse neutro sul piano di polarizzazione, e si faccia girare lo spato, sul 45° le due imagini diventano bianche; al 90° una è rossa e l'altra è verde; e poi bianche un' altra volta; e successivamente si scambiano i colori.

Fig. 82.

2° Fra il polarizzatore e l'analizzatore (specchio o pila di lastre, o tormalina), posti in modo da estinguere la luce, si collochi uno spato islandico tagliato perpendicolarmente all' asse, colla sua sezione principale parallela o perpendicolare al piano di polarizzazione. Apparisce (fig. 82.) una croce nera (A), e una bella serie di anelli vivamente colorati. Se poi si giri di 90° l'analizzatore, la croce diventa bianca (fig. 83.), e gli anelli complementari degli antecedenti. Se la luce incidente è omogenea, la croce è o nera o del colore dell' incidente medesima; e così pure gli anelli. I diametri dei quali crescono colla rifrangibilità del loro colore, diminuiscono in grandezza assoluta, e finalmente si perdono coll' aumentare la grossezza dello spato. Fenomeni analoghi si osservano in tutti i cristalli uniassi.

Fig. 83.

3° Sostituendo allo spato dei cristalli biassi tagliati per-

pendicolarmente all' asse cristallografico ; le fasce colorate cessano di essere circolari, e concentriche, e diventano curve a due centri collocati negli assi del cristallo. I. Quando l' analizzatore estingue la luce, si à una croce (fig.84.) nera

Fig. 84. Fig. 85. Fig. 86.

a braccia disuguali. Dopo, tenendo fermo il polarizzatore e l' analizzatore, e girando il cristallo, i pennacchi neri (fig.85.) si spartiscono, tenendosi riuniti due a due sugli assi ottici; quindi (fig.86.) formano due curve simmetriche. II. Con una posizione dell' analizzatore normale all' antecedente, gli anelli assumono i colori complementari, ed i pennacchi diventano bianchi. III. Ove il cristallo sia tale, che l' angolo formato da suoi assi superi i 20, o 25 gradi, non si veggono più i due sistemi delle curve (fig.87.), ed i pennacchi diventano due soli, come avviene nell' arragonite.

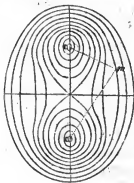



Fig. 87. Fig. 88.

4° Herschel à dimostrato che nel caso dei cristalli biassi, gli anelli sono disposti sopra delle curve (fig.88.) a due

Digitized by Google

centri, e tali, che il prodotto dei due raggi vettori (*cm*; *c'm*) di ciascun lor punto è sempre costante, e si chiamano *lemniscate*. Or questo carattere deicristalli biassi è quello che li fa riconoscere per tali, e ne fa valutare la deviazione degli assi. E poichè la tempra, la compressione, insomma tutte le modificazioni che alterano lo stato molecolare disugualmente nelle diverse direzioni, rendono birifrangenti gli unirifrangenti; così colle alterazioni medesime certe sostanze, per esempio il vetro, acquistano la proprietà di produrre i colori della luce polarizzata, e dànno figure (fig. 89, 90, 91, 92, 93, 94.) assai belle a vedere.

Fig. 89.

Fig. 90.

Fig 91.

Fig.92.

5° A spiegare i fenomeni del primo ordine, si collochi l'occhio fra l' analizzatore e la lamina di mica, e si vedrà che la luce trasmessa da questa è bianca in ogni sua posizione. Dunque è l'analizzatore che nel primo fenomeno scompone la luce bianca nei suoi colori, disposti per altro secondo l'angolo di polarizzazione. Ricordiamoci inoltre che la lamina è birifrangente; che nei birifrangenti, quando l'an-

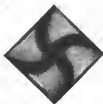



Fig. 93.

Fig. 94.

golo di incidenza giace nella sezione principale o nella perpendicolare, anche il raggio straordinario sta nel piano di incidenza, e che ove una di queste due sezioni si trovi nel piano di polarizzazione (come accade due volte in ogni giro dell' esperimento primo), il raggio passa pel cristallo senza essere biforcato. Dunque in queste due posizioni la lamina conserva il raggio luminoso intero. E siccome esso era già polarizzato in guisa da non esser riflesso o trasmesso dall'analizzatore, così questo darà il nero. In ogni altra posizione della lamina il raggio è diviso in due parti, le quali (meno il caso della posizione intermedia alle due dette) ànno diversa intensità, e di più sono polarizzate in piani opposti, l'una nel piano di polarizzazione primitiva, l' altra nel perpendicolare. I due raggi poi, secondo che traversano una lamina più o meno grossa, ma dentro certi limiti, debbono avere (come si dimostra col calcolo) i caratteri e la rifrangibilità di due determinati colori, ma sempre complementari fra loro; per esempio, uno dev' essere rosso e l'altro verde. Il verde per altro, essendo polarizzato nel piano di polarizzazione primitiva, è estinto dall'analizzatore; mentre il rosso, essendo polarizzato in un piano perpendicolare, non lo è affatto e giunge all'occhio. Allora facendo rotare l'analizzatore, questo dovrà estinguere il rosso, e non più il verde. Dunque in ogni caso l'analizzatore decompone la luce bianca, composta dei due colori complementari confusi insieme, ne estingue uno e riflette o trasmette l'altro.

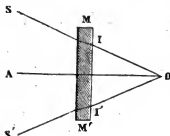



Fig. 95.

6° Quanto al second' ordine di fenomeni, sia MM' (fig.95.) la lastra perpendicolare all'asse ed O la posizione dell'occhio. La parte di fascio incidente, che diviene visibile, forma una specie di cono luminoso SOS', il cui vertice è nell'occhio O, la cui base circolare à un diametro SS' variabile colla distanza, ed il cui asse AO coincide coll'asse del cristallo. I

diversi raggi di questo cono provano degli effetti differenti: quelli che sono vicini all'asse AO, non deviano, e quelli che stanno verso gli orli MM′ la trapassano obliquamente, e sono per conseguenza sottomessi alle due rifrazioni ordinaria e straordinaria; ma queste due rifrazioni si compiono sempre nel medesimo piano, perchè ogni sezione perpendicolare passante per AO è una sezione principale. Di più i diversi raggi, ugualmente lontani dall'asse e ripartiti su di una medesima circonferenza, provano modificazioni assai differenti nei loro piani di polarizzazione. Infatti, se (fig. 96.) si rappresenta con BIEC la pianta del fascetto al momento in cui esce dalla lama cristallizzata, e per IC il piano primitivo di polarizzazione, è evidente I. che i raggi I e C restano polarizzati nel piano primitivo, poichè il loro piano di polarizzazione coincide colla sezione principale IC, cui traversano; II. che i raggi B, ed E restano parimente polarizzati nel loro piano primitivo, perchè il loro piano di polarizzazione è perpendicolare alla sezione BE, cui trapassano; III. che un raggio intermedio OD, polarizzato secondo DR si divide in due altri, l'uno ordinario polarizzato secondo OD, l'altro straordinario polarizzato secondo FK. Più OD sarà vicino ad IC, più il raggio ordinario sarà intenso, e debole lo straordinario. Ma i raggi situati in IC o BE, essendo polarizzati parallelamente alla sezione principale, rimarranno estinti dall'analizzatore. Invece ogni raggio intermedio, ordinario o straordinario, darà nascimento ad uno straordinario, che traverserà la tormalina analizzatrice. Di più i raggi collocati nello stesso azzimutto, avendo per la loro obliquità percorso strade disuguali nella lamina e nella tormalina, potranno dare per interferenza punti o luminosi o scuri. E siccome intorno all'asse AO tutto è simmetrico, si formerà una serie di anelli alternamente colorati o scuri. Se la sezione principale dell'analizzatore (tormalina) fosse perpendicolare al piano di polarizzazione primitiva, allora i raggi ordinarii passerebbero, e la croce diverrebbe bianca, o co-

Fig. 96.

lorata, del colore insomma della luce primitiva; e gli anelli si sposterebbero, perchè sarebbero formati da altri raggi.

87. Polarizzazione circolare ed ellittica. — I. SCOLII. 1° Adoperando nelle sperienze sopra descritte per lamina birifrangente, posta fra il polarizzatore e l'analizzatore, una lastra di quarzo tagliata perpendicolarmente all'asse, si trova che la croce nera manca affatto; e comparisce invece al centro una tinta uniforme di rosso, di verde, o di torchino, secondo la grossezza del cristallo. Girando poi quest'ultimo intorno al proprio asse, non cangia l'apparenza della tinta. Ma se invece si fa girare o il polarizzatore o l'analizzatore, compariscono successivamente tutti i colori dello spettro. La comparsa della luce nel centro degli anelli mostra che si è cambiato il piano di polarizzazione del raggio luminoso: e che però il cristallo di monte à la prerogativa di far rotare il piano di polarizzazione.

2° Se un raggio polarizzato cada sopra lastre metalliche pulimentate, ed in guisa, che il piano d'incidenza sia parallelo o perpendicolare al piano di polarizzazione, la luce è riflessa senza ricevere altra modificazione particolare, tranne quella (dipendente dalla proprietà dei metalli) di polarizzarla al modo ordinario. Ma in ogni altra posizione del piano di incidenza, il raggio polarizzato nel riflettersi manifesta apparenze di colorazione.

II. DEFINIZIONI. 1ª Il fenomeno, prodotto dal cristallo di monte di far rotare il piano di polarizzazione, dicesi *polarizzazione circolare*.

2ª La modificazione, che soffre la luce quando cade sopra una lastra metallica con un piano d'incidenza obliquo a quello di polarizzazione, à nome *polarizzazione ellittica*.

3ª Ogni altra polarizzazione, diversa dalla circolare od ellittica, vien chiamata *rettilinea*.

III. LEGGI. Relativamente alla polarizzazione non rettilinea sono state ritrovate sette leggi; quattro per la circolare, e tre per la ellittica.

1ª *La rotazione del piano di polarizzazione aumenta o diminuisce colla grossezza del cristallo.*

2ª *La rotazione è diversa pei diversi colori: essa è mini-*

ma pel rosso, e massima pel pavonazzo. Ciò dimostra la comparsa successiva dei colori prismatici. Anzi, se il quarzo sia grosso un millimetro, la rotazione del rosso è 17°, quella del violetto è 44°.

3° *La prerogativa di far rotare il piano di polarizzazione spetta ad alcuni liquidi, a certi aeriformi, e fra i solidi al solo quarzo: ma l'angolo di rotazione è diverso per le varie sostanze.* Questa diversità serve ai mineralogi per riconoscere e distinguere un corpo da un altro.

4° *Può ottenersi la polarizzazione circolare anche col far subire al raggio più riflessioni totali.* Infatti si abbia una lastra parallelepipeda di vetro (fig.97.) cogli angoli acuti di 54°: e vi si faccia cadere un raggio (SI) in guisa, che non possa emergerne, se non dopo essersi due volte (in I e C) riflesso totalmente. Il raggio emergente non darà segno di polarizzazione. Ma è diverso dalla luce comune: perchè con due altre simili riflessioni totali si torna a mostrare polarizzato; anzi possono ottenersene i fenomeni stessi, che suol dare il cristallo di monte.

I E S C

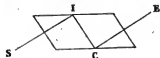



Fig. 97.

5° *La luce polarizzata, e poi riflessa da una lastra di oro o d'argento, dà i più brillanti colori complementari nelle imagini ordinaria e straordinaria di uno spato d'Islanda analizzatore.*

6° *I quali colori variano secondo l'angolo d'incidenza, ed il numero delle riflessioni sulle lastre metalliche.*

7° *I colori medesimi ànno il massimo splendore, quando il piano di polarizzazione è inclinato di 45° verso quello d'incidenza, e spariscono, quando tale inclinazione è 0°, oppure 90°.* Le leggi sulla polarizzazione ellittica, ossia queste ultime tre, debbonsi agli esperimenti di Brewster.

38. Sistemi ottici [1]. — Intorno alla questione sul modo di agire della luce, i fisici si schierano in due campi. Al-

1 Questo nome suol darsi anche a tutto il Trattato della luce; il quale, specialmente quando è matematico, da *ὄπτω vedo, guardo*, dicesi *Ottica*. Donde ***Diottrica***, e *Catottrica*, composti dello stesso verbo e da *διά tra, a traverso, κατά dietro;* tanto che gli stessi Greci dis-

tri, sotto la scorta di Newton, tengono che la luce sia una sostanza tenuissima, la quale si stacca dai corpi luminosi e si spande tutto intorno, come fanno le molecole dei corpi odorosi per modificare le papille nervee dell' olfato. Altri poi, seguendo Huyghens e Descartes, pensano che questa tenuissima sostanza trovisi diffusa stabilmente in tutto l'Universo; e sia determinata dai corpi luminosi a scuotersi, a un di presso come fa l'aria per trasportare i suoni.

I. DEFINIZIONI. 1ª La teoria, per la quale si suppone che la luce sia continuamente lanciata intorno dai corpi luminosi, è detta *sistema dell'emissione*, ed anche *corpuscolare*.

2ª L'altra, per la quale s'imagina che i fenomeni della luce sieno prodotti da scotimenti di una sostanza diffusa da per tutto, è chiamata *sistema delle ondulazioni*, o *delle vibrazioni*.

3ª Quella sostanza capace di ondulare, e vibrare meglio assai dell'aria stessa, suol denominarsi *etere*.

4ª Nella teorica dell'emissione si suppone per ogni molecula lucida una parte, nella quale essa trovisi in condizioni migliori per essere riflessa che trasmessa, e chiamasi *accesso di facile riflessione*; ed un'altra parte, in cui la medesima nel muoversi abbia maggior facilità alla trasmissione che alla riflessione, e dicesi *accesso di facile trasmissione*.

5ª Dicesi *macchina delle vibrazioni* un apparecchio ideato da Wheatstone, in cui alcune pallottoline, per mezzo di due o quattro guide di legno acconciamente combinate concepiscono tutti quei complicati movimenti, che nel sistema delle ondulazioni si suppongono appartenere alle molecule eteree.

II. SCOLII. 1° Pertanto, secondo la teorica dell' emissione esiste nei corpi luminosi una sostanza *sui generis* sottilissima, le cui particelle, sebbene tendano con una certa attrazione verso di essi, ciò non ostante, avendo una prevalente forza ripulsiva fra loro, schizzano dal corpo luminoso e diffondonsi tutto intorno. Nè sono esse tutte della natura stessa, ma ànno diversa densità, e disposizione a seconda degli elementi

sero κάτοπτρον lo specchio. Anzi dalle stesse preposizioni κατά e δια, e da καίω (futuro καύσω) *brucio* sono nate le parole *catacaustica*, e *diacaustica*.

dei quali costano ; e così altre possono produrre sulla retina una modificazione, cui risponda la sensazione di rosso, altre quella di ranciato, e via dicendo. I corpi ponderabili poi agiscono sulle particelle della luce attraendole o respingendole, il che per altro non accade che a distanze minime; dagli specchi sono respinte tutte di conserva senza essere alterate; dai corpi scabri sono anche respinte, ma dopo essere state modificate in guisa da far loro assumere quella diversità, donde dipende il tale o tale altro colore. E poichè queste particelle nel muoversi posseggono due disposizioni contrarie, o (come disse Newton) due accessi diversi, uno di facile trasmissione, l'altro di facile riflessione, pel primo dei quali obbediscono più all'attrazione che alla ripulsione, e pel secondo viceversa; e gl'intervalli di questi accessi o lo spazio, che la particella dee percorrere per trapassare da un accesso all'altro, è diverso pel diverso suo colore; così è che, giungendo su di una lastra diafana, altre sono riflesse, ed altre sono trasmesse. Ma queste, in virtù appunto dell'attrazione diversa cui soggiacciono nei diversi mezzi, si inflettono o rifrangono. Anzi in certi casi, come in quelli degli anelli colorati, se varii raggi debbono incontrare un altro mezzo dopo cammini alquanto diversi secondo la serie dei numeri dispari o dei pari, altri si troveranno in un accesso, ed altri nell'opposto, e la distanza fra questi raggi sarà quella degli intervalli degli accessi. Che se nella luce comune le particelle si trovano in tutti gli accessi, nella polarizzata questo non è ; perchè quando la luce si divide in riflessa e trasmessa, oppure in ordinaria e straordinaria, ognuna à suoi accessi consentanei fra loro ed opposti a quelli dell'altra; e però deve chiamarsi polarizzata.

2° Riempie, secondo l'altra ipotesi, tutto l'Universo, e penetra tutti i corpi, e ne cinge tutti gli atomi un mezzo elastico, sottilissimo, chiamato *etere*. Il quale, o perchè è eccessivamente rado, o perchè penetra liberamente i corpi, non oppone ostacolo veruno al movimento dei corpi celesti. Non è pesante, ma è resistente; il che non implica impenetrabilità: giacchè questa è la impossibilità della penetrazione, e la resistenza è la reazione che si svolge per la difficoltà della

penetrazione e per la inerzia. E però le molecule dell'etere possono essere messe in moto per l'agitazione delle molecule della materia ponderabile. Quando una di queste riceve un'impulsione, essa la comunica a tutte le circostanti: a questo modo il movimento si propaga di mano in mano in ogni direzione, come su tante superficie sferiche concentriche, i raggi geometrici delle quali rappresentano i raggi lucidi; in virtù delle medesime leggi dinamiche che regolano le ondulazioni dei mezzi elastici, come l'aria, l'acqua, o i solidi, secondo la loro rispettiva costituzione. Ond'è che giungendo tali movimenti ai nostri occhi colpiscono i nervi della retina, e vi eccitano quelle modificazioni, che sono atte a produrre nell'animo la sensazione dei colori. Nell' interno poi dei mezzi l' etere si ritrova in uno stato di elasticità minore, che nel vuoto, e tanto minore, quanto il mezzo è più rifrangente. E però le vibrazioni dell' etere si comunicano nell'interno dei corpi con una velocità minore; quindi i fornici sferici, sui quali si trovano le onde nel mezzo più rifrangente, ànno il centro comune a maggior distanza, ossia sono meno curvi, e così il raggio di luce si avvicina alla perpendicolare del piano dirimente. Il colore deriverebbe dalla maggiore o minore ristrettezza delle onde, ossia dal maggiore o minor numero di molecole che prendono parte ad una medesima onda, e quindi dalla conseguente frequenza degli impulsi sulla retina ; e la intensità diversa deriverebbe dall'ampiezza delle escursioni di ciascuna molecola dell' etere intorno ai loro punti di equilibrio. Incontrandosi due raggi in fasi opposte, le vibrazioni debbono elidersi a vicenda, e le molecole restare in riposo; debbono poi rinforzarsi, o vibrare per escursioni maggiori, se si incontrano in fasi consentanee: quindi le interferenze. In grazia dei fenomeni di polarizzazione convien supporre che il moto vibratorio delle particelle eteree non si faccia, come nel suono, secondo la lunghezza del raggio, chè in tal caso sarebbe il medesimo sotto ogni azzimutto, ma come nelle corde sonore trasversalmente a tal direzione. Nel raggio polarizzato la direzione delle escursioni di ciascuna molecola eterea sarebbe una sola determinata, quando invece nel raggio comune ogni molecola si

muoverebbe in un diverso azzimutto: e quindi il piano di polarizzazione sarebbe quello che passa pel raggio ed è normale alle escursioni eteree. E questa è la polarizzazione rettilinea. Che se due raggi ugualmente polarizzati, e componenti un sol fascio facciano ondulazioni differenti fra loro di un $^1/_4$ o di $^3/_4$ di onda e stieno ad angolo retto, la teoria insegna, e la Macchina delle ondulazioni fa vedere, che essi concepiscono una vibrazione composta circolare, ed il raggio risultante si dice polarizzato circolarmente. Ma nel primo caso girerà sinistrorso, nel secondo destrorso. Così il raggio unico polarizzato in un piano, traversando il quarzo tagliato perpendicolarmente all'asse, si divide in due polarizzati circolarmente uno *destrorso*, ed uno *sinistrorso*. Ma questi, se si ricompongano di nuovo da una tormalina, colla teoria e colla detta macchina si prova che dànno un raggio polarizzato in un piano più o meno inclinato al piano primitivo, secondo la differenza della via acquistata nel tragitto della lamina. Parimente, se i due raggi differiscano fra loro di qualche numero dispari di ottavi di onda, la teoria e la macchina insegna che si avrà un'ellisse; ed è a questa cagione che si ascrivono i fenomeni chiamati di polarizzazione ellittica.

3° Sarebbe faccenda assai prolissa, e al certo tutt'altro che elementare, venir precisando la spiegazione di tutte le leggi ottiche, secondo l'uno o l'altro sistema, e venir sciogliendo le difficoltà che sono fatte contro l'uno, o contro l'altro. E però è qui necessario far sosta, avvisando solamente che sebbene i moderni prediligano l'ipotesi delle vibrazioni, ciò non ostante la lite non è ancor finita. Eppure qui si tratta di una causa fisica, i cui effetti ci sono tutto giorno sotto gli occhi, e la quale si studia da qualche migliaio d'anni! Questo ci può servire di utile ammaestramento, e di correzione contro quell'orgoglio, che è tanto comune nei semidotti, di credersi atti a risolvere ogni dubbio, a decidere ogni controversia, ad intendere ogni dottrina fosse anche di quelle, le quali o sono accessibili solo a quei pochissimi, che vi ànno fatto sopra studii assai profondi, o (ciò che non è solo imprudente, ma anche empio) superano l'intelligenza dell'uomo, e ci furono per mezzo della Chiesa da Dio medesimo

Digitized by Google

rivelate. L'avvertimento non è mio, è di Dante, il quale scrisse:

S'egli erra
L'opinion, mi disse, de' mortali,
Dove chiave di senso non disserra,
Certo non ti dovrien punger gli strali
D'ammirazione omai: poi dietro a sensi
Vedi che la ragione à corte l'ali.

Paradiso. Canto II. *v.* 52.

ARTICOLO VI.

TEORICA DELLA VISIONE.

39. Occhio ed illusioni ottiche. — I. SCOLII. 1° Mirabile e misteriosa è la costruzione dell'occhio! È esso (fig. 98.) situato in una cavità ossea detta *orbita*, e vi è trattenuto e messo in moto specialmente dai muscoli, ed anche dal nervo ottico (*n*), e dalle palpebri. La sua forma è quella di una sferoide con una protuberanza alla parte anteriore. Si dice *sclerotica* una membrana opaca (*i*) che avviluppa l'occhio, e la quale alla parte posteriore à un foro, per cui passa il nervo ottico (*n*), ed alla anteriore à un' apertura circolare, nella quale è incastonata a ugnatura la membrana trasparente (*a*), che copre la protuberanza, e che è chiamata *cornea*. Dietro a questa si ritrova un corpo lentiforme (*f*), assai trasparente, denominato *cristallino*; il quale è rinchiuso in una membrana diafana (*c*), detta *capsula*. Il cristallino à la faccia anteriore meno convessa della posteriore, ed il suo tessuto è composto di una serie di lamelle quasi concentriche, più dure e meno rifrangenti al centro che alla periferia. Fra la cornea e il cristallino si spiega un diaframma colorato ed opaco (*d*), che à nome *iride*, aderente pel suo perimetro esterno e libero, ed aperto al centro con un foro (*b*), che viene denominato *pupilla*. L' iride divide lo spazio intercetto fra la cornea ed il cristallino in due ca-

vità chiamate *camere*, *anteriore* l'una (*b*), *posteriore* l'altra (*c*), rimpiute del così detto *umore acqueo* (*e*). La sclerotica è foderata nell'interno da una membrana (*k*) vascolare, cui chiamano *coroide*; la quale è ricoperta di una materia nera, che si protende in avanti, facendo un sèguito di pieghe (*g*) denominate *processi cigliari*. Questi, a modo di castone, abbracciano e sostengono l'orlo della capsula del cristallino. Tutto lo spazio frapposto tra il cristallino e la coroide è pieno di un umore (*h*) trasparente detto *vitreo*, simile all'albume dell'uovo, e racchiuso esso pure in una membrana (*l*), che è chiamata *ialoide*. Ma fra la coroide e la ialoide è la *retina*,

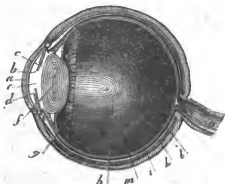



Fig. 98.

cioè una rete (*m*) di filetti nervosi delicatissimi, i quali si spandono dal nervo ottico (*n*), che (come dicemmo), penetra nel fondo dell'occhio per un' apertura situata alla parte inferiore della sclerotica.

2° Fin qui abbiamo ammesso, che sulla retina si formassero le imagini degli oggetti in quel modo medesimo, in cui si formerebbero dentro una camera oscura senza lente, ma dotata di un foro sottilissimo. Ora il foro dell'occhio, cioè la pupilla, è bastantemente esteso, affinchè possa accogliere un sufficiente numero di raggi; e le imagini ciò non ostante sono nitide: il che avviene per le rifrazioni, alle quali va sog-

Digitized by Google

getta la luce negli umori dell' occhio. Infatti (fig. 99.) ciascun punto luminoso (A, C, B) di un oggetto, posto dinanzi all' occhio, invia un suo fascetto (A*oe*) di raggi divergenti, i quali rifratti dalla cornea e dall' umore acqueo, poi dal cristallino e dall' umore vitreo sono prima resi meno divergenti, e quindi convergenti (*oae*) in modo da formare tanti fuochi (*a*, *c*, *b*) sui rispettivi assi dei fascetti, e precisamente sulla retina. Così l'imagine (*acb*), che quivi si produce, è *distinta*, perchè composta di veri fuochi; e *vivida* ad un tempo, perchè questi fuochi risultano da molti raggi.

3° Venendo ora alle illusioni ottiche, diverse da quelle di prospettiva, delle quali abbiamo già (5. IV. 2°) dato un cenno, principieremo dal fare avvertire, che un oggetto che passi velocissimo dinanzi agli occhi (come una palla di schioppo, una ruota che giri velocissima) specialmente se sia poco

Fig. 99.

illuminato, non si vede affatto. Il che mostra esser necessario che la luce operi per un certo tempo sulla retina, per farvi un'impressione che valga.

4° Ma questa stessa impressione dura più delle cagioni che la producono. Infatti, se si gira con velocità un tizzo incandescente si vede un circolo di fuoco; le particelle della polvere, che passano veloci per un fascio di luce, dànno l'apparenza di lineette splendenti. Con ciò si spiega l'epicicloide continua che vedesi col fotometro (6. IV. 1°) di Wheatstone.

5° Anzi l'impressione sulla retina, specialmente se sia molto energica, si estende al di là del contorno dell' imagine; e tende a rotondarsi. Infatti gli oggetti vivamente illuminati sopra un fondo oscuro sembrano ingranditi, i neri sul bianco appariscono impiccoliti, e le fiamme delle candele a distanza appariscono veri dischi circolari.

Digitized by Google

6° Guardando fisso per un certo tempo un oggetto colorato posto su di un fondo nero, la vista si stanca, e l'intensità dei colori si indebolisce: allora rivolgendo gli occhi sopra una parete o una carta bianca, si presenta un' imagine dell' oggetto stesso, ma complementarmente colorata. Pare che la retina affaticata sia divenuta insensibile ai raggi del colore di quel tale oggetto, e però non resti modificata che dai complementari esistenti nel bianco.

7° Quando la retina è fortemente impressionata da un oggetto splendente, non è atta a ricevere le deboli impressioni. Perciò non veggonsi le stelle a mezzogiorno; e quando si viene da un sito molto illuminato, si tarda a distinguere gli oggetti non tanto splendidi.

8° Anche l'oggetto stesso molto illuminato apparisce circondato da un'aureola del colore complementare. E questo spiega il fenomeno, pel quale guardando il rosso posto accanto all' aranciato, quello tende al violetto, e questo al giallo; la prossimità del rosso e del torchino fa volgere quello al giallo, e questo al verde.

9° Sopra una carta bianca si posino due corpicciuoli neri, uno *a* a sinistra, e l' altro *b* a destra; quindi chiuso, per esempio, l' occhio sinistro, si diriga l' occhio destro verticalmente sull' oggetto *a*. Ciò fatto, si prenda l' altro oggetto *b* e si traslochi verso destra parallelamente alla retta congiungente i due occhi. Vi sarà un sito, a cui pervenendo *b*, cesserà di esser visibile, ma più in là tornerà a comparire. Si crede che divenga invisibile, quando la sua imagine si forma su quella estremità del nervo ottico, donde partono i filamenti della retina.

II. DEFINIZIONI. 1ª Il fenomeno della epicicloide continua formata dal fotometro a riflessione (G. IV. 1°), e ogni altro simile, chiamasi *persistenza delle imagini.*

2ª L'estensione maggiore, che acquista l'imagine di un oggetto assai vivido, si dice *irradiazione.*

3ª Son dette *imagini accidentali* quelle, che appariscono del colore complementare per la stanchezza della vista.

4ª Le corone parimente di colore complementare, che cingono gli oggetti molto illuminati, chiamansi *aureole accidentali.*

5ª Il cangiamento, che offrono i colori posti uno a canto l'altro, vien chiamato *contrasto dei colori*.

6ª Quella porzioncella di retina, che è insensibile per la visione, à nome *punto cieco*.

40. Teorica della visione. Sotto questo titolo sogliono intendersi più le trattazioni di ciò, che è controvertibile intorno ai fenomeni della visione, che le dottrine rigorosamente dimostrate e fondamentali, quali sono quelle esposte fin dal principio di questo Capo. Pertanto con una succinta esposizione di quelle prime chiuderemo il trattato della luce.

I. DEFINIZIONI. 1ª Una stampa di caratteri ordinarii non si legge comodamente, se trovisi o troppo vicina o troppo lontana dagli occhi. Però la normale abbassata dall'occhio all'oggetto, quando questo dalla comune degli uomini si percepisce chiaramente, chiamasi *distanza della visione distinta*.

2ª Alcuni fanno eccezione dalla regola comune, e non veggono distintamente, se l'oggetto non è ravvicinato più della detta distanza. Questi distinguono meglio stringendo gli occhi, e però diconsi *miopi*, e *miopìa* chiamasi il loro difetto: dacchè i Greci da μύω *socchiudere gli occhi* aveano tratto μύωψ, μύωπος, ed anche μυωπάζω *non veggo lontano*.

3ª Altri poi non veggono distintamente che a distanza maggiore dell'ordinaria; difetto assai frequente nei vecchi. E perciò quelli, da πρεσβύτης *anziano*, sono chiamati *presbiti*, e la loro imperfezione è detta *presbitismo*.

4ª Chiamano *ottimetro* un canocchiale costruito in maniera da potere, per mezzo di esso, con facilità determinare in ciascun individuo la distanza della visione distinta.

5ª Dicesi *cateratta* la più frequente, e la meno incurabile imperfezione che suole sopravvenire agli occhi, ed è prodotta da una pellicola opaca, la quale ricopre il cristallino.

6ª È chiamata *gotta serena* la paralisi, per la quale il nervo ottico perde la sensibilità; e *mosca volante* un offuscamento proveniente da particelle opache sparse nell'umor vitreo.

7ª Tutti sanno che per *occhiali* ed *occhialino* s' intendono le lenti adoperate dai miopi o dai presbiti per correggere il difetto della loro vista.

8ª Sono denominate *periscopiche* le lenti da occhiali con-

Digitized by Google

cavo–convesse, la superficie convessa delle quali è destinata a ricevere i raggi incidenti, ed à il suo centro di curvatura nel punto intorno a cui ruota l'asse ottico.

9ª Da *στερέος solido*, e *σκοπέω guardo* è stato chiamato *stereoscopio* uno strumento, pel quale con ciascuno degli occhi si guarda una delle due pitture di un oggetto medesimo, ricopiato sotto due diversi punti di vista; e così se ne vede il rilievo, e la profondità.

II. SCOLII. 1° È certo che le imagini, le quali si formano sulla retina sono sottovolte: si domanda com' è che noi vediamo tutto diritto. Pare chiaro che ciò avviene, perchè tale è l'abitudine che abbiamo contratto fin da quando, confrontando col corpo nostro per mezzo del tatto gli oggetti esterni, imparammo a riferire fuori di noi, ed a cose estese, profonde, e più o meno distanti le sensazioni della vista.

2° Se la visione degli oggetti è determinata dalla pittura che se ne forma sulla retina, e tal pittura è distesa sulla superficie della retina stessa senza rilievi, e senza sottosquadri, com' è che si percepisce la solidità, ed il profondo? Pare che il guardare gli oggetti con due occhi non rechi il solo vantaggio di farli apparire più luminosi e di accrescere il campo della vista, ma che ci aiuti anche a farci percepire le distanze, ed il rilievo dei corpi. È certo che influisce a questo effetto la diminuzione di grandezza degli oggetti lontani, e lo sbattimento delle ombre, ma sembra che vi conferisca eziandio la duplicità della imagine sulla retina. Sia perchè dobbiamo inclinare gli occhi tanto più, quanto più vicino è l'oggetto; ed il sentimento di questa operazione può essere un dato, con cui l'abitudine ci à insegnato ad associare il sentimento della distanza: sia perchè le imagini, che di un oggetto stesso si formano sulle due retine, non sono esattamente identiche. A mostrare l'influenza di quest' ultima cagione è venuto opportuno lo stereoscopio, che ideato già da Leonardo da Vinci, e perfezionato recentemente da Brewster, fu nel 1838 proposto da Wheatstone a prova della influenza medesima. Con due camere oscure rivolte ad uno stesso oggetto, sotto un angolo uguale all' ottico, si prendono per fotografia due imagini di un rilievo o di un profondo qua–

Digitized by Google

lunque. Queste non riescono perfettamente uguali: dacchè in una sono ricopiati i fianchi destri, nell'altra i sinistri degli oggetti a rilievo, o dei solidi esistenti a maggiore o minore profondità. Or bene: si collochino ambidue al fondo di una cassettina; sul prospetto della quale si trovino due aperture distanti quanto distano fra loro i due occhi, e separate da una tavoletta, la quale divida in due metà la detta cassettina, e per conseguenza faccia sì che applicando gli occhi alle dette aperture, con un occhio veggasi esclusivamente una delle dette imagini, e coll'altro non si vegga che l'altra. Inoltre (fig. 100.) le aperture medesime sieno chiuse con due mezze lenti (M, N), affinchè ambidue le fotografie (A, B) facciano impressione sui siti omologi delle retine, e se ne abbia un'apparenza sola (in C). Riuscirà talmente spiccato il rilievo degli oggetti, e le cose appariranno una dopo l' altra con tal verosimiglianza ed illusione, che è una meraviglia a vedere. Del resto una volta riconosciuta la solidità dei corpi, o degli oggetti rappresentati dalle fotografie, riesce facile percepirla anche con un occhio solo.

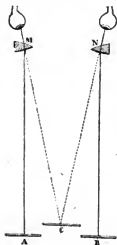



Fig. 100.

3° Suol chiedersi anche la ragione, per la quale, sebbene le imagini sieno due ogni volta che si guarda con ambidue gli occhi, ciò non ostante noi vediamo un oggetto solo; a condizione per altro che (§. IV. 3°) le due imagini si formino nei siti omologi delle due retine. Si risponde che forse sotto questa condizione il cervello è modificato nel sito medesimo dai due nervi ottici; e così l'animo, che è in commercio con quello, e non con questi, nè colle retine, riceve un' impressione sola. Quello che è certo si è, che la percezione degli oggetti, veduti con ambidue gli occhi, risulta dalla somma delle due impressioni. Dacchè se i fondi delle

due camere dello stereoscopio sieno dipinti con due colori complementari, ne risulta la sensazione di bianco. Ma anche senza ciò si rifletta che è il tatto, il quale ci à insegnato a riconoscere un oggetto solo corrispondente alla sensazione, che nasce nell'animo in forza delle due impressioni prodotte dalla luce sui siti omologi delle due retine.

4° Ma donde provengono, e come correggonsi le imperfezioni degli occhi? Non tocca a noi trattare della gotta serena, o della mosca volante, le quali sono malattie incurabili; nè della cateratta, cui la chirurgia à trovato la maniera di estrarre dell'occhio, o di ridurre in un canto, dove non impedisca alla luce di trapassare pel cristallino, e così giungere fino alla retina. I difetti, dei quali dobbiamo pur dire qualche parola, sono la miopia, ed il presbitismo. Poichè il miope vede ben distinti i soli oggetti vicini, e viceversa il presbita; è chiaro che quello non vede distintamente che per raggi molto divergenti, e questo solo per raggi poco divergenti, quali son quelli che staccansi da un punto assai lontano. Sia dunque che la miopia dipenda da un'eccedente convessità degli occhi, sia che da una forza rifrangente eccessiva degli umori, e specialmente del cristallino; sempre potrà correggersi con una lente acconciamente divergente. Dappoichè con essa potranno rendersi divergenti quanto occorre i raggi, che pur venendo dalla distanza di un venti o trenta centimetri (che è quella della visione distinta) non lo sarebbero abbastanza per un miope. Parimenti o il presbitismo derivi da uno schiacciamento dell'occhio, o da indebolimento della forza rifrangente degli umori di esso; una lente di convergenza potrà diminuire la divergenza relativamente eccessiva di quei raggi, che è necessario far provenire da punti lucidi poco distanti, affinchè sieno abbastanza copiosi ed efficaci. E queste lenti appunto son quelle che si adoperano per gli occhiali, ritrovati, a quanto sembra, verso l'anno 1285 dal toscano Salvino degli Armati. Siccome poi l'occhio deve rivolgersi or da una parte ed ora dall'altra; così si è recentemente trovato opportuno di usare per gli occhiali le lenti periscopiche.

5° Da quanto abbiamo detto fin qui, e specialmente dalla

teoria delle lenti, dovrebbe dedursi che noi non possiamo vedere che gli oggetti collocati ad una determinata distanza. E infatti, se il vetro smerigliato della camera oscura non si sposta ad ogni spostamento dell' oggetto, l' imagine che vi si forma non sarà distinta. Intanto noi distinguiamo gli oggetti grandi a distanze assai differenti. Or come accade ciò? Mile e Pouillet ne assegnano per causa le contrazioni e le dilatazioni della pupilla. Secondo questi tutti sbircierebbero a un di presso come i miopi. Hunter e Young attribuiscono al cristallino la proprietà di contrarsi, e però divenire più o meno convesso. Kepler, Camper, ed altri ritengono che il cristallino possa per mezzo dei processi cigliari spostarsi ed avvicinarsi più o meno alla retina. Rohault ed Olbers opinano, che il diametro dell'occhio dall' innanzi all'indietro possa variare. Altri ànno detto che possa esser sensibile per la visione tutto l'umor vitreo. Secondo la teoria di Sturm il luogo, ove la luce può agire sulla retina, non è un punto unico, ma una linea, o *fuoco lineare*; in tutta l'estensione del quale il fascio luminoso, che penetra per la pupilla, è abbastanza ristretto per produrre un'imagine distinta. Questa estensione poi è piccola assai, perchè l'occhio è formato da molti mezzi inegualmente rifrangenti, separati da superficie, che non solamente non sono sferiche, ma che inoltre non formano un sistema simmetrico intorno ad un asse comune. Finalmente Magendie e Dehaldat sostengono che la cosa provenga dalla piccolezza delle variazioni della distanza focale del cristallino. Ed infatti in una camera oscura le imagini degli oggetti, che vi mandano la luce, sono visibili e chiare, ad onta che il vetro smerigliato si rechi a distanze sensibilmente varie dalla lente: e d'altra parte la distanza della visione distinta è per ciascun individuo una sola. Comunque ciò sia, queste titubanze e difficoltà dei Fisici confermano ciò che fu asserito da principio, che cioè la costruzione dell'occhio è non solo mirabile, ma anche misteriosa.

6° Se l'occhio dell' uomo è mirabile sotto mille aspetti e specialmente per la varia distanza, a cui vede; dev' esserlo più a tal riguardo quello degli uccelli di rapina, i quali dall'alto dell'atmosfera scorgono sulla superficie terrestre gli

animaletti destinati a lor pasto, e piombano loro sopra senza mai perderli di vista. Ma reca eziandio gran meraviglia la corrispondenza fra gli occhi degli animali, e la diversità dell' uso che essi ne fanno. Nei vermi e molluschi sembra che la vista sia supplita dal tatto; e convien dire che il sensorio ottico sia sparso su tutto il corpo in quegli animali, i quali sono sensibilissimi alla luce, e pure non mostrano di avere occhi. Gl'insetti che ànno gli occhi immobili e che non potrebbero vedere che in una direzione, sono anche forniti di antenne, colle quali sentono gli ostacoli che potrebbero offenderli. Ma il ragno e lo scorpione ànno otto occhi; la mosca e la farfalla ne ànno a centinaia, diretti in tutti i sensi ed incassati in una medesima orbita. Gli uccelli ne ànno due soli; ma questi sono rivolti a due parti opposte, e ciascuno dei due può abbracciare la metà dell'emisfero visibile. Il bue, il gatto, quelli insomma che sono dotati di molta sensibilità visiva, ànno anche la pupilla ellittica per restringerla nei luoghi più illuminati. Maggior sensibilità senza tale graduazione ànno quelli, che devono restare appiattati di giorno e vagare solamente la notte. Gli occhi dei pesci non ànno umor acqueo: perchè la forza rifrattiva di questo differirebbe troppo poco da quella del mezzo in cui vivono; anzi il lor cristallino è quasi sferico. Insomma la struttura dell'occhio, e la sua varietà nei diversi animali ci insegnano, che nel creato domina un ordine finale mirabilissimo, e ci invitano a riconoscere l'infinita Sapienza e Bontà del Creatore.

Digitized by Google

CAPO SECONDO.

ELETTRICITA'.

41. Soggetto del Capitolo. — Abbiamo già annunciato che fra i corpi, i quali non sono nè solidi, nè liquidi, nè vaporosi, ed i quali non mostrano peso di sorta e però sono detti *imponderabili*, deve annoverarsi quello che produce il lampo, il tuono, e la folgore, e che si domanda *fuoco elettrico* ed *elettricità*. Or questo è appunto l' agente fisico, di cui ci accingiamo a trattare. Agente che, sebbene nel rivelarcisi produca spesso illuminazione, riscaldamente, fragore; ciò non ostante il suo carattere distintivo non è nè la luce, nè il calorico, nè il suono; ma sibbene una certa virtù attraente e repellente, del tutto analoga a quella della calamita. Imperocchè. come è noto fino dai tempi di Talete, cioè da pressochè due mila e quattrocent' anni a questa parte, i corpicciuoli leggieri, per esempio i pezzettini di carta, salgono su verso l'ambra gialla, che sia stata antecedentemente strisciata sopra un altro corpo; e la calamita, che è un minerale composto di un protossido con un sesquiossido di ferro [1], attrae a sè potentemente questo metallo. E poichè i Greci chiamavano ἤλεκτρον l'ambra, e μάγνης la calamita, e tali attraimenti furono creduti essere proprietà esclusive dell'ambra stessa e della calamita; così la cagione della prima classe di fenomeni ebbe nome *elettricità*, e *magnetismo* fu chiamata la cagione dell'altra. Se non che, come più tardi si è riconosciuto, ambedue quelle cagioni non risiedono unicamente o nell'ambra o nella calamita; nè producono sole attrazioni, ma anche delle repulse; e di più il principio cui, in occasione di temporale, debbonsi i terribili fenomeni sopra enunciati, è quello stesso che attrae i corpi leggieri verso l'ambra; anzi, come si è recentemente dimostrato, il magnetismo stesso non è in sostanza diverso dall'elettrico.

1 Questo minerale, che i Chimici chiamano *ossido magnetico*, à per formula chimica il binomio $FeO + Fe^2O^3$; e si ritrova talvolta anche alla superficie del suolo, specialmente in Isvezia e nella Norvegia.

Poste le quali cose, non recherà maraviglia, se il presente Capo, cui abbiamo intitolato dall'elettricità, dovrà abbracciare anche il discorso delle virtù magnetiche. Anzi da questo prenderemo le mosse.

ARTICOLO I.

VIRTU' DELLA CALAMITA.

42. Leggi fondamentali del magnetismo. —
I. PROPOSIZIONI. 1ª *La calamita attrae alcune sostanze, e ne respinge altre, con forza prevalente in due estremità opposte.*

Dimostrazione. Una pallina di ferro dolce o di bismuto sia tenuta da un filo sospesa a pendolo. Presentandole un pezzo di calamita, il pendolo abbandona la verticale, e se è

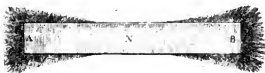



Fig.101.

di ferro, va ad accostarsi alla calamita, se di bismuto, sè ne allontana. Inoltre questi movimenti sono più energici, se ai pendoli si espongano le due estremità della calamita; anzi, se questa si ravvolga nella limatura di ferro, e poi si sollevi, trarrà (fig.101.) con sè due fiocchi di limatura in due lati opposti, e fra mezzo appena ne rimarrà attaccata qualche particella.

2ª *La calamita si rivolge con una delle dette estremità, verso il norte, coll'altra (ma sempre la medesima) verso il sud.*

Dimostrazione. Se un pezzo di calamita (fig.102.), sospeso orizzontalmente ad un filo, o librato sopra una punta, sia abbandonato a sè stesso, principia ad oscillare; e non si ferma, finchè una di quelle due estremità, su cui la virtù di attrarre è prevalente, non sia rivolta a norte e l'altra a

Digitized by Google

sud. Che se quella parte, che suol volgersi a sud, forzatamente si porti innanzi a norte, l'equilibrio sarà instabile: giacchè al primo e più piccolo urto la calamita da sè riprenderà la sua primiera e natural posizione.

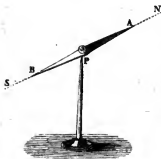
3° *La calamita comunica a certe sostanze tutte le sue virtù.*

Dimostrazione. Un pezzo di acciaio, che sia stato un qualche tempo a contatto con una calamita o strisciato su questa, riproduce tutti i fenomeni sopra esposti, non escluso questo medesimo di conferire le virtù magnetiche ad un altro acciaio, senza che esso perciò venga a perderle, come non le perdè la calamita nel comunicarle ad esso.

II. SCOLII. 1° Poichè l'acciaio, senza alterarsi chimicamente, nè cangiar di peso, acquista le prerogative della calamita; e poichè questa le può perdere coll' arroventarla senza per ciò cangiare nè peso, nè natura; così si è dovuto supporre, che i sopraddetti fenomeni sieno prodotti da una sostanza diversa dalla calamita medesima, ed imponderabile. Teoria proposta da Epino.

Fig. 102.

2° Anzi poichè quella sostanza che trovasi ad un estremo di una calamita tende verso il sud, e fugge da norte, e quella che sta all'altro estremo fa tutto l'opposto; i fenomeni medesimi sono stati attribuiti a due cagioni diverse, ciascuna delle quali risegga su di un opposto estremo della calamita medesima. Tale ipotesi fu posta da Coulomb.

3° Inoltre questa cagione medesima si suol considerare come una sostanza fluida: sebbene non soglia scorrere sui corpi. Infatti rompendo una calamita a due metà, ognuna di queste è una calamita compiuta, e possiede per conseguenza tutte e due le forze sopraddette: e se le metà medesime si suddividano di nuovo indefinitamente, ciascun pezzetto mostra le proprietà opposte sulle nuove facce di frattura, sulle quali per conseguenza debbono trovarsi due

sostanze diverse, senza che possa ragionevolmente supporsi, che vi sieno rifluite nell'atto della rottura.

III. DEFINIZIONI. 1ª La prima delle tre virtù sopra dimostrate chiamasi *attrattiva* o *ripulsiva*, *direttiva* la seconda, e la terza *comunicativa*.

2ª L'acciaio temprato, quando abbia acquistate le virtù magnetiche, si denomina *calamita* esso pure.

3ª Si dice *magnetizzare* o *calamitare* il rendere calamita un corpo, che naturalmente non lo è; dicesi poi *smagnetizzare* o *scalamitare* il far sì che cessi di esser tale.

4ª Per distinguere il minerale chiamato calamita, cioè l'ossido magnetico, da un ferro calamitato, si dà l'epiteto di *naturale* a quello, e di *artificiale* a questo.

5ª Una calamita artificiale in forma di sottile cilindro o di rombo (fig.102.) si denomina *ago calamitato*, o *magnetico*; in forma poi di parallelepipedo (fig. 101) si chiama *sbarra magnetica* o *calamitata*.

6ª Gli estremi (A, B) di una calamita, sui quali le virtù sono prevalenti, e si rivolgono ai punti cardinali norte e sud, sono detti *poli della calamita*.

7ª Anzi distinguonsi fra loro col nome del punto stesso cardinale, a cui mirano; ossia uno (A) dicesi *polo norte* o *nort*, e l'altro (B) *polo sud*.

8ª La linea mediana (N), nella quale (fig.101.) l'attrazione e la ripulsione è debole, viene appellata *linea neutra*.

9ª La sostanza stessa, che è cagione dei fenomeni delle calamite, à nome *fluido magnetico*, o *magnetismo*.

10ª Quel magnetismo che trovasi al polo norte di una calamita è detto *australe* e *negativo*; e l'altro *boreale* e *positivo*.

11ª Le sostanze attratte dalle calamite si appellano *paramagnetiche*, e *diamagnetiche* le respinte: le une e le altre poi diconsi genericamente *magnetiche* [1].

1 Dalle più accurate sperienze sembra risultare che sieno sostanze paramagnetiche (oltre il ferro dolce) l'acciaio, il niccolo, il cobalto, il cromo, il manganese, l'asbesto, lo spato fluore, il cinabro, il carbone di legno, la carta, la ceralacca, la guttaperka, e l'ossigeno; e diamagnetiche invece il bismuto, l'antimonio, lo zinco, lo stagno, il mercurio, il piombo, argento, rame, oro, fosforo, solfo, cera, amido, zucche-

12ª Suol dirsi *bussola* una scatola, sul cui fondo ritrovisi la rosa dei venti, e si sollevi (dal centro per altro della rosa stessa) una punta a sostenere in bilico un ago calamitato [1].

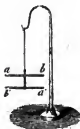
13ª Chiamasi *astatico* un sistema (fig. 103.) di due aghi calamitati paralleli e riuniti coi poli in senso inverso, per eliminare gli effetti della loro virtù direttiva.

43. Virtù attrattiva e ripulsiva. — I. PROPOSIZIONI. 1ª *I poli eteronimi di due calamite si attraggono a vicenda, e gli omonimi si respingono.*

Fig. 103.

ro, legno, avorio, gli acidi nitrico, solforico, cloridrico, non che l'olio di oliva, e di trementina.

1 Questo istromento utilissimo per la navigazione pare che in Europa sia stato primieramente adoperato da Flavio Gioia di Amalfi; ma da un cenno che ne da s. Alberto Magno è certo che si conosceva fin dal secolo XII; e sembra indubitato che sia stato in uso presso i Cinesi e gli Indiani anche pri-

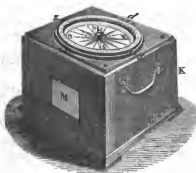
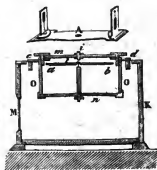



Fig. 104. Fig. 105.

ma dell'èra volgare. Le bussole ordinarie sono assai conosciute e semplici, ma quelle che ora adoperano i marini (fig.104.) e che chiamansi anche *compassi di mare*, e *compassi di variazione*, sono affidate ad un nodo di Cardano, affinchè rimangano sempre orizzontali, e munite (fig.105.) di traguardo o alidada (A) per determinare con precisione la posizione dell'ago.

Digitized by Google

Dimostrazione. Determinati i poli (fig.106.) di due aghi calamitati (A, ed *ab*), uno di essi (*ab*) si sospenda orizzontalmente ad un filo, e l'altro (A) si approssimi al primo, tentando di tenere in prossimità i due poli australi (A ed *a*), oppure i due boreali. Non si giungerà mai ad ottenerlo: dacchè la calamita sospesa girerà orizzontalmente, e porterà davanti al polo australe (A) dell'ago fermo il suo polo boreale (*b*), e quando le si presenta il boreale, tornerà a volgersi, ed offrirà a questo il suo polo australe (*a*). Anzi, ove i due poli eterogenei arrivino a toccarsi, resteranno tenacemente attaccati insieme. Dunque ecc.

2ª *La intensità delle attrazioni e ripulsioni magnetiche è in ragione inversa del quadrato della distanza.*

Dimostrazione. Questa legge può dimostrarsi [1] in un modo analogo a quello tenuto per la luce e per la gravità. Imperocchè le sostanze paramagnetiche correndo verso la calamita, com'è naturalissimo, per la via più breve, ossia le at-

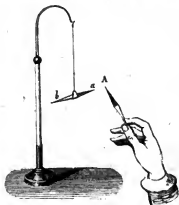



Fig. 106.

1 Coulomb à dimostrato la legge della intensità delle attrazioni e ripulsioni magnetiche per mezzo tanto delle oscillazioni che di una macchina, che è chiamata *bilancia di torsione*.

Ecco come si procede col metodo delle oscillazioni. Si pone ad oscillare un ago astatico davanti al polo inferiore di una sbarra calamitata, tenuta verticale, ed abbastanza lunga per eliminare l'effetto del polo superiore. Contato quindi il numero delle oscillazioni per un determinato tempo, e per varie distanze dell'ago dalla sbarra, si trova che le oscillazioni stanno fra loro inversamente, come le distanze. Ora le oscillazioni di un ago calamitato sono isocrone come quelle di un pendolo, ed in tal caso (come si dimostra in Fisico-matematica) le forze sollecitanti il corpo ad oscillare stanno fra loro in ragione diretta dei quadrati dei numeri rappresentanti le oscillazioni. Se dunque, come dicemmo or ora, i quadrati di queste stanno fra loro inversamente come i quadrati delle distanze, dovranno le forze medesime avere fra loro quest'ultima ragione.

trazioni facendosi per linee rette, e per linee rette esercitandosi anche le ripulsioni; per logica illazione la loro in-

Prima di esporre l'altro metodo sopra enunciato, è necessario descrivere la costruzione della bilancia di torsione ed il modo di prepararla. Sul cielo piano di una cassa cubica di cristallo (fig.107.) s'innalza un tubo pur di cristallo; il quale può ravvolgersi intorno al suo asse, intanto che resta ferma la sottoposta cassa. Il tubo medesimo è superiormente chiuso da un coperchio metallico consistente in due anelli (*e*,*d*), uno dei quali (E,*e*) è saldato con mastice al tubo medesimo, ed è tutt'intorno graduato, e chiamasi ***micrometro***; l'altro (D) porta un segnetto chiamato ***linea di fiducia*** (*c*), e può girare, affinchè la linea di fiducia passi a corrispondere successivamente a tutti i gradi del micrometro; e di più, per mezzo di due montanti che vi sorgono sopra, porta un filo metallico. Il quale, traversati liberamente ambidue gli anelli ed il tubo di vetro, va a terminare nel mezzo della cassa, e sostiene col suo capo inferiore una sbarra calamitata in posizione orizzontale. Le pareti verticali della scatola medesima portano una lista orizzontale graduata; ed il suo cielo è forato nel sito, che corrisponde alla verticale sollevata dallo zero (*o*) di questa graduazione: il qual foro è destinato ad introdurvi una sbarra verticale di calamita.

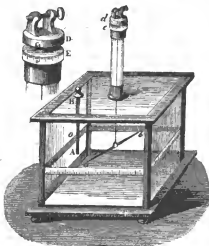



Fig. 107.

Affine di preparare alle sperienze la bilancia di torsione, primieramente si colloca la linea (C) di fiducia incontro allo zero (*o*) del micrometro (E, *e*); poi al filo metallico si appende (invece della sbarra calamitata) un'asta orizzontale di rame; e si gira il tubo, finchè l'asse dell'asta di rame riesca parallelo alla retta, che congiunge il centro della cassa collo zero della graduazione di quest'ultima. Così si può essere sicuri, che il filo non soffre torsione: giacchè, se esso invece del rame sostenesse la calamita, la forza direttiva di questa potrebbe tenerlo ritorto, anche quando tutto è in equilibrio. Finalmente si gira tutto l'apparato in guisa, che l'asse dell' asta di rame giaccia proprio nella linea, in cui suol porsi da sè la calamita, cioè riesca parallelo ad una sbarra sospesa ivi dappresso; allora dicesi che l'apparato è orientato.

Digitized by Google

tensità deve variare, come divaria quella della luce, in grazia appunto del suo cammino rettilineo.

Tutto questo non basta, ma è necessario eziandio misurare la energia della forza direttiva della calamita. A tale scopo si levi l'asta di rame, e si riporti al suo posto la sbarra calamitata (*ab*); e quindi, a forza di torcere il filo metallico, si procuri di ritogliere l'asse di questa dal piano verticale, in cui suol giacere. Cioè si ravvolge l'anello superiore (*d*, D) finchè l'estremo dell'ago calamitato (*ab*), abbandonato lo zero, vada a fermarsi incontro al grado primo. Per ottenerlo era necessario a Coulomb girare la linea di fiducia (*c*) di 36°. Per conseguenza il filo era contorto di 36° al capo superiore: ma il capo inferiore avea girato di 1° nel senso stesso; ossia erasi storto di 1°. Dunque la virtù direttiva della calamita nell'apparecchio in tutto simile a quello di Coulomb (chè in un altro diverso si avrà un numero diverso) imprime al filo una torsione di 35° per riportare l'ago nel piano della sua direzione ordinaria. Che se si fosse voluto far fermare l'ago sul grado 2°, si sarebbe dovuto far girare la linea di fiducia di ben 72°; ossia il filo avrebbe sostenuta una torsione di 70°; ed ove l'ago si voglia far fermare sul 3°, il filo dev'essere ritorto di tre volte 35 gradi. Insomma il fatto prova, che la forza direttiva di quella tal calamita vale tante volte il 35°, quanto è il numero dei gradi che segna l'ago calamitato. E chiamando N questo numero; l'angolo di torsione, e per conseguenza la forza di torsione, e però anche la virtù direttiva della calamita, è uguale a $35 \times N$.

Premesse le quali cose, ecco come si dimostra il sopraenunciato teorema. Collocata la linea di fiducia sullo zero del micrometro, orientato l'apparato, e posto l'ago calamitato allo zero della graduazione inferiore, s'introduce nel foro della cassa la sbarra verticale (BA) calamitata, in guisa che il polo inferiore (A) di questa sbarra rimanga in presenza dell'omonimo (*a*) dell'ago sospeso. Ed ecco subito avverarsi la ripulsione: chè l'ago, abbandonando la sua posizione ordinaria, si discosterà dall'asta. Ma l'equilibrio sarà ristabilito, quando la virtù direttiva della calamita sospesa, e la torsione del filo bilancieranno insieme la forza ripulsiva delle due calamite. Trovisi allora l'ago sul grado N. Certo la forza direttiva sarà $35 \times N$. Ma oltre ciò il filo soffre una torsione di N gradi. Non solo dunque tende a ritornare sullo zero, chiamatovi dalla forza $35 \times N$, ma anche per istorcersi, ossia dalla forza N. Dunque la ripulsione, che sostiene queste due forze, è uguale ad $N + 35 \times N$. Si tenti ora di riavvicinare l'ago di metà in maniera, che non disti più dall'asta verticale quanto vale N, ma solo un mezzo N. Converrà rivolgere il disco superiore (D, *d*) in senso inverso, ossia dare una nuova torsione all'altro capo del filo. Sia n il numero dei gradi di torsione percorsi dalla linea di fiducia (*c*), quando l'ago è giunto alla distanza di mezzo N. Allora il filo soffre una torsione di n più mezzo N. Intanto trovandosi distante dallo zero, o dalla posizione voluta dalla sua virtù direttiva, della quantità uguale a mezzo N; questa esercita una for-

II. SCOLIO. Dappoichè gli effetti delle calamite non si attribuiscono alla loro sostanza, ma all' imponderabile magnetismo, che è loro unito; e dappoichè, secondo tutte le apparenze, ogni calamita possiede due fluidi magnetici, l'australe, e il boreale; così l' enunciato della proposizione 1ª suol tradursi nel seguente: *i fluidi magnetici eteronimi si attragono, e gli omonimi si respingono mutuamente.*

44. Virtù direttiva della calamita. —

I. PROPOSIZIONI. *L' ago calamitato devia dalla meridiana più o meno nei diversi paesi, ed anche in un sito medesimo vuoi periodicamente, vuoi straordinariamente.*

Dimostrazione della 1ª parte. I. Cristoforo Colombo vide pel primo nel 1492, e molti altri dappoi ànno verificato, che l' asse dell' ago della bussola non coincide esattamente colla linea meridiana, ma fa con essa un angolo spesso assai sensibile. II. Inoltre da una serie di misurazioni assai esatte è dimostrato, che quest' angolo à un diverso valore nei siti differenti. III. Anzi quando in Europa devia verso occidente, nelle altre parti del Mondo si rivolge ad oriente.

Dimostrazione della 2ª parte. I. Da accurate osservazioni, fatte con bussole (fig. 108.) munite di livella (n), di canocchiale (L), e di micrometri (K, V), risulta che l'asse della sbarra calamitata, che in una certa epoca faceva verso oriente un certo ango-

za uguale a 35 moltiplicato per mezzo N. Dunque l' ago resta fermo, ad onta che sia animato da due forze che lo richiamano allo zero, una delle quali è $35 \times \frac{N}{2}$, e l'altra è $n + \frac{N}{2}$. Per la qual cosa alla somma di queste due quantità è uguale la forza ripulsiva che si esercita fra i due poli omonimi delle calamite. Or bene; sostituendo i valori numerici dati dall'esperienza per n ed N, si trova che in fatto sta l'equazione $n + \frac{N}{2} + 35 \times \frac{N}{2} = 4 (N + 35 N)$; ossia la forza della calamita nella seconda sperienza è quadruplice di quella, che essa mostra nella prima. O, ciò che è lo stesso, la ripulsione è metà a distanza doppia. Procedendo oltre ad esperimentare la forza stessa, quando le calamite sono successivamente sempre più avvicinate fra loro, tutto coincide esattamente e ci porta alla deduzione, che le attrazioni e le ripulsioni magnetiche si esercitano in ragione inversa del quadrato della distanza.

Digitized by Google

lo colla meridiana, giunto che sia ad un certo azimutto principia a ritornare indietro, finalmente coincide colla meridiana; ma da allora in poi incomincia a piegare verso occidente e sempre più; finchè giunto ad un certo limite ritorna da capo verso la linea meridiana. In una parola: questa variazione è una vera oscillazione al di qua e al di là della

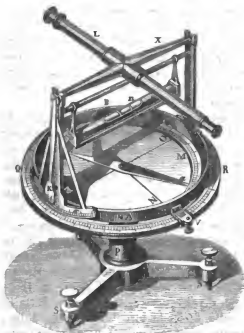



Fig.108.

meridiana. In Roma, per esempio, nel fine del secolo XVII la calamita deviava di 2°,30′ verso occidente; nel 1811 giunse a 17°, e subì la deviazione massima; dopo è venuta riavvicinandosi alla meridiana di circa 3′,36 l'anno; talchè nel 1859 deviava di 13°,43′,4. II. Parimente nelle varie stagioni dell'anno, come ritrovò Cassini, l'asse della sbarra va spostandosi di

pochi minuti al di qua e al di là della sua posizione media, ma più agli equinozii che ai solstizii. III. E va variando perfino di ora in ora: dacchè la mattina si piega alquanto verso ovest, e la sera ritorna verso est, e quindi di nuovo nella notte prima si avvia ad ovest, e poi da capo ad est, le quali oscillazioni non passano 15′ in estate, e 7′ nell'inverno.

Dimostrazione della 3ª parte. Infine la posizione di un ago calamitato soffre delle brusche deviazioni di più gradi in occasione di eruzioni vulcaniche, di temporali, o di aurore polari.

2ª *Un ago calamitato, mobile nel piano verticale che passa per l'asse di una bussola, si abbassa con un suo polo verso l'omonimo terrestre, facendo con un piano orizzontale un angolo, che cresce a un di presso colla latitudine, ed è vario nei diversi tempi.*

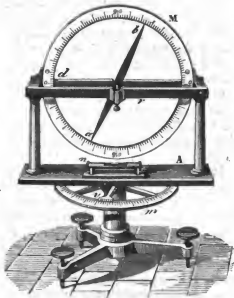
Dimostrazione. I. Si prenda un parallelepido di acciaio, e prima di calamitarlo, vi si annetta un asse trasversale, che passi pel suo centro di gravità in guisa che, facendo poggiare quest'asse sopra due cuscinetti, la sbarra rimanga equilibrata in un piano orizzontale. Dopo ciò si calamiti, e si collochi parallelamente ad un ago da bussola, ossia in modo che il suo asse longitudinale faccia col piano del meridiano un angolo uguale alla deviazione contemporanea, di cui abbiamo parlato nella proposizione antecedente. Si vedrà che la sbarra s'inflette, e il polo norte si abbassa verso il terreno, facendo con un piano orizzontale un certo angolo, quasi quel polo fosse più pesante dell'altro. II. Il quale angolo è diverso pei diversi paesi; ma con una certa legge. Dacchè in prossimità dell'equatore terrestre è nullo, e negli altri siti aumenta sempre più quasi colle latitudini; talchè alla latitudine boreale 80° circa (come à riferito il capitano Parry) l'ago si pone verticale. Quell'angolo qui a Roma nel 1859 valeva 59°, 12′. Anzi, se la sbarra medesima si trasporti nell'emisfero australe, sarà il polo sud, che si abbasserà verso il suolo; e ad un di presso si abbasserà tanto più, quanto sarà più grande la latitudine. III. Che se possa usarsi uno strumento (fig.109.) che sia molto dilicato, e munito di un circolo graduato verticale per le misure esatte, potrà perfino verificarsi che anche questa de-

viazione dell'ago dal piano orizzontale va divariando da un'epoca all'altra. A Roma diminuisce di circa 3',05 all'anno.

II. SCOLII. 1° La più felice ipotesi che sia stata proposta a spiegare la virtù direttiva della calamita è quella di Gilbert; il quale principiò a considerare la Terra come una grande calamita, avente i suoi poli e la sua linea neutra. Quindi i due fluidi magnetici terrestri ànno ricevuto il nome dall'emisfero, in cui giacciono: e siccome l'attrazione avviene fra fluidi eteronimi; così il magnetismo, che trovasi al polo nort di una calamita, è detto australe, e boreale quello che è attratto verso il polo australe della Terra. I fatti poi sopra enunciati provano, che i poli della Terra, considerata come calamita, non coincidono coi poli geografici, nè la linea neutra giace nell' equatore.

Fig. 109.

2° L'energia, colla quale la Terra dirige le calamite, è variabile: come si prova con una calamita orizzontale appesa ad uno o due fili paralleli. Infatti ritogliendo tale calamita dalla sua posizione di equilibrio concepisce delle oscillazioni, dalla varia frequenza delle quali si dee argomentare che in diversi siti ed in diversi tempi la forza, che chiama la calamita nella sua direzione stabile, è diversa.

III. DEFINIZIONI. 1° L'angolo, che fa l'asse dell' ago calamitato, ossia la retta che ne congiunge i poli, col piano del meridiano geografico, si dice *declinazione magnetica*.

2ª Quello, che con un piano orizzontale fa l'asse medesimo di un ago girevole verticalmente, e collocato nel piano della declinazione, vien detto *inclinazione magnetica*.

3ª Si dicono *poli magnetici terrestri* quei punti della superficie della Terra, ai quali si dirige un ago da bussola, e sui quali esso avrebbe l'inclinazione di 90°.

4ª Il piano verticale, che passa pei poli magnetici terrestri, è chiamato *meridiano magnetico*.

5ª Quella linea tracciata sulla superficie terrestre, nella quale l'inclinazione è nulla, si denomina *equatore magnetico*.

6ª Le linee, le quali congiungono fra loro tutti i luoghi, dove la declinazione à lo stesso valore, chiamansi *isogoniche*.

7ª Le linee analoghe della inclinazione sono denominate *isocliniche*.

8ª Le linee che congiungono i siti, nei quali la intensità della forza direttiva è la medesima, sono dette *isodinamiche*.

9ª La declinazione, l'inclinazione, e la forza magnetica ànno ricevuto il nome generico di *elementi del magnetismo terrestre*.

10ª Gli strumenti più perfezionati destinati a misurare questi tre elementi si chiamano rispettivamente *bussola di declinazione* e *declinometro*, *bussola d'inclinazione* ed *inclinometro*, *magnetometro unifilare* o *bifilare*.

45. Virtù comunicativa. — Questa è esercitata dalle calamite in due differenti maniere, in quanto che la calamitazione di certe sostanze è del tutto passeggiera, e quella di certe altre è stabile. Noi ci occuperemo nel presente paragrafo di quest'ultima, la quale si ascrive alla virtù più rigorosamente chiamata *comunicativa*.

I. scolii. 1° È provato dai fatti, che sovrapponendo una all'altra varie piccole calamite, coll'avvertenza che tutti i poli del medesimo nome rimangano dalla stessa parte, l'insieme di tutte à più forza che una grossa calamita, pesante da sè sola tanto, quanto tutte quelle riunite insieme.

2° Parimenti, se una calamita venga ripiegata in guisa, che (fig.111.) i suoi due (A,B) poli si rivolgano verso uno stesso pezzo di ferro dolce; l'attrazione che essa esercita, o il peso che sostiene, è molto maggiore.

Digitized by Google

3° Il ferro dolce (B'A') destinato ad essere attratto da una calamita è comunemente corredato da uno (K) o più uncini, allo scopo di appendervi i pesi maggiori o minori che possono essere sostenuti dalla calamita medesima.

4° Una data sbarra di acciaio non acquista col calamitarla che una forza magnetica limitata: e questi limiti dipendono dalla qualità dell' acciaio, di cui è formata, dal grado della sua tempera, ed anche dalla forza della calamita adoperata a magnetizzarla.

5° Altre sostanze si calamitano più facilmente e prontamente, ed altre meno. Ma è un fatto che quelle, che stentano più a magnetizzarsi, conservano anche più lungamente la virtù acquistata.

6° Si conoscono varii metodi più o meno acconci per calamitare il ferro: ma la descrizione di essi non può interessare che gli artisti, i quali si sono dedicati a fabbricare le calamite artificiali. Due o tre cose si riferiscono più manifestamente alla scienza, e sembrano accennare a qualche legge importante, e di esse daremo un cenno nei seguenti scolii.

7° Un pezzo di ferro può restare calamitato anche senza volerlo o col batterlo o col limarlo; od anche solo perchè da lungo tempo trovasi in una determinata posizione sulla superficie della Terra, come accade delle croci dei campanili. Ma, generalmente parlando, la maniera più spedita (prescindendo da certi metodi fondati sopra alcune leggi dell' elettricità, delle quali non possiamo ancora parlare) è quella di strisciare un polo di una forte calamita sulla sbarra di acciaio, che s' intende calamitare.

8° Si avverta peraltro che, se le strisciate si facessero or per un verso e or per l' altro, non si otterrebbe mai l' intento: dacchè coll' andare si distrugge ciò che si era fatto col venire.

9° Anzi è meglio strisciare la sbarra magnetizzanda con un polo di una calamita dal mezzo ad un estremo, e coll'altro polo della medesima dal mezzo all' altra estremità.

10° Strisciando lo stesso polo sulle due metà della sbarra, questa assumerebbe nel mezzo il polo eteronimo a quello della calamita, ed agli estremi due poli omonimi. Anzi, se

Digitized by Google

la sbarra si posasse sui poli di più calamite alternamente eteronimi fra loro, la sbarra prenderebbe una serie di poli eteronimi a quelli, cui tocca.

11° Sembra cosa dimostrata che, se contemporaneamente con due poli diversi di due diverse calamite si facciano due strisciate ad un tempo, una da un lato, l'altra dall'altro, il ferro può rendersi più fortemente calamitato.

12° Anzi è anche meglio collocare (fig.110.) i due poli eteromini (A e B) delle due calamite nel mezzo della sbarra (*ab*) da calamitarsi, e tenendoli separati da un pezzetto di legno strisciarli tutti e due prima verso un estremo, poi da questa estremità all'altra, e così di sèguito.

13° Ed è anche espediente posare gli estremi (*b*,*a*) della

Fig. 110.

sbarra da calamitarsi sopra i poli eteronimi (A, B) di due altre forti calamite (H, e K), come propose Epino.

II. DEFINIZIONI. 1ª Le calamite ripiegate (fig.111.) in guisa da rivolgere dalla stessa parte (A,B) i loro due poli, chiamansi *a ferro di cavallo*.

2ª Quelle, che sono costituite da più sbarre sovrapposte una all'altra (fig. 110.) sono denominate *fasci magnetici*: e, se sieno ripiegate come sopra (fig.111.), si distinguono col nome di *calamite a più ferri di cavallo*.

3ª Il ferro dolce (B'A') direttamente attratto dalla calamita, poichè suol essere dotato di uncini (K) per sostenere dei pesi, è detto *àncora*.

4ª Una sbarra di acciaio che abbia acquistata quella forza magnetica, di cui è capace, viene chiamata *satura*.

5ª Si chiamano *punti conseguenti* i varii poli, che talora si ritrovano lungo una medesima sbarra calamitata.

6ª Viene detta *forza coercitiva* la resistenza maggiore o minore, che oppongono certe sostanze a farsi calamitare; e la tenacità, onde conservano la loro calamitazione.

7ª Il calamitare l' acciaio si chiama *calamitazione stabile.*

46. Influenza magnetica. — Oltre la sopraddetta calamitazione, vi è anche quella passeggiera del ferro dolce, della quale passiamo a trattare.

I. PROPOSIZIONE. *Una sostanza magnetica , finchè si trova in presenza di una calamita, ne assume le virtù.*

Dimostrazione. A convincerci di questo basterebbe anche solo osservare che se (fig. 101.) da una sbarra di calamita pendono dei filamenti di limatura di ferro , è segno che tutte le particelle del ferro (meno le prime che toccano la calamita) sono attratte dal ferro divenuto esso medesimo per un momento il soggetto delle attrazioni magnetiche. Ma anche senza ciò , si prenda una sbarra di ferro dolce (cioè senza carbonio e non temperato), la quale non dia verun segno magnetico, e si avvicini gradatamente per un suo

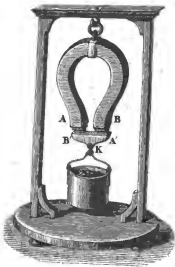



Fig. 111.

estremo ad un polo di una calamita. Prima anche di giungere al contatto con questa à già la forza di tenere appesa della limatura in gran copia. Anzi, se la sbarra sia di una giusta lunghezza e venga tenuta verticale , si vedrà che la limatura si posa in maggior copia sugli estremi. Il che indica come anch' essa abbia i suoi poli e la linea neutra. Nè questo ferro, tutt'ad un tratto calamitato, manca della virtù comunicativa, almeno di questo genere di cui stiamo parlando: perchè (fig.112.) ad esso può rimanere attaccata un' altra

sbarra di ferro dolce, e a questa una terza. Appena per altro il ferro dolce si allontana dalla calamita, o da quell'altro ferro dolce, da cui sta ricevendo questa calamitazione, non mostra più veruna virtù magnetica. Dunque ecc.

II. DEFINIZIONI 1ª La passeggiera calamitazione del ferro dolce. dovuta alla presenza della calamita, si chiama *influenza* ed anche *induzione magnetica*.

Fig. 112.

2ª La virtù comunicativa della calamita, quando si esercita per sola influenza, riceve il nome di *virtù induttiva*.

3ª Quell'insieme di cilindretti di ferro (fig.112.), che per induzione si attaccano uno all'altro, si denomina *catena magnetica*.

III. SCOLII. 1° Sembra che l'influsso debbasi ad un'attrazione, che il fluido del polo della calamita induttrice esercita ver-

Fig. 113.

so quello eteronimo che si ritrova nel ferro dolce, e ad una ripulsione contro l'omonimo. Infatti l'effetto dell'influenza è eliso, se (fig.113.) al polo (A) della calamita influitrice si approssimi l'eteronimo (B′) di un'altra sbarra calamitata. Non già che con questo i fluidi magnetici, i quali debbono supporsi in ogni sostanza magnetica, si traslochino sul corpo

influito. Ma certamente quei due fluidi, che prima dell' influsso si trovano disordinati su ciascuna particella del ferro, sotto quest' attrazione e ripulsione sono orientati o disposti con quell' ordine, e forse avviati a muoversi con quella regolare e cospirante direzione, donde dipendono le manifestazioni del magnetismo.

2° L'influenza è scambievole: perchè sembra che le virtù della calamita stessa, che esercita l'influenza, in quell'atto si esaltino. Il che, a dir vero, non accade che lentamente, per ragione della forza coercitiva, maggiore certamente nelle calamite stabili.

3° È però che, a conservare la sua forza ad una calamita, e a fare anche che la venga aumentando, giova tenerla in esercizio; o, in altri termini, giova farle esercitare continuamente l'influenza almeno sopra un'àncora.

Fig. 114.

4° Su quest'ultima avvertenza è fondata la utilità delle così dette *calamite armate;* le quali sono costruite nel seguente modo. Si rendono levigate (fig. **114.**) le due facce polari (A, e B) di una calamita naturale; poi si prendono due lastre (*a* e *b*) di ferro dolce di 2, o 3 millimetri di grossezza, chiamate *armature*, e si applicano una per una su le dette facce polari in guisa, che sporgano alquanto dalla parte inferiore in due piedini più grossi (*b*, *a*); e si legano con lastrine di ottone. Le armature, e i loro piedini resteranno calamitati per influenza, aumenteranno la forza della calamita, e sporgendo dalla parte inferiore attrarranno insieme l' àncora (*a' b'*).

5° Dalle quali cose può ragionevolmente inferirsi che la calamita non attrae infine che calamita: perchè il ferro dolce, e l' àncora restano calamitati per influenza col solo approssimarli alla calamita.

6° Sembra ancora potersi asserire, che il fatto stesso della calamitazione stabile sia l' effetto di un influsso magnetico ;

e che i processi adoperati a tal uopo non abbiano altro ufficio che di vincere la resistenza, cui oppone l'acciaio alla calamitazione, per la sua grande forza coercitiva. La quale forza è utile, perchè impedisce che l'acciaio perda le virtù magnetiche, come fa il ferro dolce.

7° Anzi si ritiene eziandio che le calamite stesse naturali sieno state calamitate dalla Terra, dal cui seno si estraggono. Certo è che se un pezzo di acciaio, ed anche una croce di campanile, rimanga per lungo tempo in una stabile posizione, non molto dissomigliante da quella del meridiano, si converte in calamita da sè.

8° Quanti naufragi non sono stati evitati, quante vite non sono state salvate da quel piccolo strumento, che chiamasi *bussola*! A ragione i piloti si affidano ad essa, lasciandole la più grande libertà di movimento, e pieni di riconoscenza per quelli che ce la diedero, si cimentano a lunghe navigazioni, scuoprono nuovi mondi, e ci arricchiscono di mille esotiche piante, droghe, medicamenti, traffichi, invenzioni. Anche pel nostro pellegrinaggio nel mare burrascoso della vita presente, ci fu largita dal Redentore, nella Chiesa divinamente ispirata, una bussola veramente infallibile. Molti ànno il merito e la sapienza di saperlesi affidare, e giungono tranquillamente al porto dell'imperitura felicità. Ma quanti, ahimè! non contenti di essere e villanamente ingrati a chi ci fe' sì gran dono, ed insipientemente sbadati alle sue indicazioni, e puerilmente improvvidi nell'incepparne i movimenti; giungono a tale audacia da pretendere, con un mostruoso rovesciamento di ufficii, di regolarne essi la direzione!

ARTICOLO II.

NOZIONI FONDAMENTALI SULL'ELETTRICITÀ.

47. Fatti fondamentali intorno all'elettricità.— I. SCOLII. 1° Già abbiamo accennato (**41.**) che l'elettricità dapprima si è manifestata per l'attrazione, che esercita verso i corpi leggieri l'ambra strisciata su di un altro corpo. Ora aggiungiamo che Gilbert verso la fine del secolo XVI ritro-

vò che anche altri corpi, cioè il vetro, la resina, lo zolfo posseggono questa stessa proprietà; non così i metalli, i marmi, ed i legni. Dal che si dedusse, che il principio attraente non è l'ambra, ma una sostanza associata ad essa ed anche a qualche altro corpo. Da allora in poi la parola *elettricità* non indicò più una proprietà dell'ambra, quasi si fosse detto *ambreità;* ma principiò ad essere come il nome proprio della sostanza, cui gli attriti determinano ad esercitare la sua azione attraente.

2° Ma Gray 125 anni appresso, e precisamente nel 1722, fece alcune sperienze, dalle quali risultò che se in contatto coll'ambra, resina, o vetro (che sieno stati precedentemente strisciati) ritrovisi qualche metallo, legno, o marmo, questi pure producono gli effetti di quelli; ossia l'elettricismo li invade, diffondendosi velocissimamente su tutta la estensione di fili metallici anche molto lunghi. Anzi si vide che, se qualcuno di questi fili su cui si è sparsa la elettricità venga preso in mano, o messo in contatto col suolo, immediatamente perde ogni virtù di attrarre. Dai quali fatti s'inferì che l'elettricismo agevolmente scorre e si spande su certi corpi inetti a svilupparlo per istrofinio, e su quelli che non sono tali è impedito a muoversi. Che il corpo umano, il muro, il suolo, l'acqua, e specialmente i metalli lo diffondono; l'ambra, lo zolfo, la resina, il vetro, la seta, l'aria lo arrestano. Un'altra illazione, che si trasse dalle sperienze medesime, si fu che dunque l'elettricità può considerarsi come un sottilissimo fluido. E siccome ogni corpo, quando se ne mostra abbondantemente fornito, pesa quanto prima; così l'elettrico deve ritenersi per un corpo imponderabile. Se ne concluse eziandio che, per ottenere su di un corpo la presenza dell'elettricismo, non è necessario farvelo svolgere per attrito; ma si può anche farvelo comunicare per mezzo di una sostanza capace di dargli un libero passaggio.

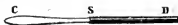



Fig. 115.

3° Sei anni appresso Dufay s'accorse che anche i metalli, i legni, i marmi, anzi qualunque ponderabile può sviluppare

l' elettricità, purchè nello strisciarlo si abbia l' avvertenza di tenerlo per un manico (fig.115.) fatto con qualcuna di quelle sostanze, che aveano manifestato per le prime le proprietà elettriche, cioè con vetro, o resina. Donde si potè concludere perchè per tanto tempo fosse stato impossibile ottenere i segnali dell' elettricismo sui metalli ed altri corpi. Dacchè era divenuto manifesto che, collo strisciare un metallo tenuto in mano o in contatto col suolo, l' elettricità vi si svolge realmente ; ma subito si diffonde per tutta la sua estensione, e pel corpo umano rifluisce nel terreno : e così

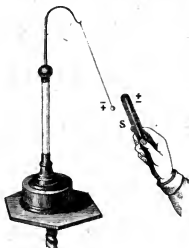



Fig. 116. Fig. 117.

manca di quella intensità, che è necessaria ad ottenerne effetti sensibili , e si perde di vista. Invece strisciando la resina od il vetro , ed anche un marmo o del legno , ma (fig.115.) separando questi ultimi corpi dal nostro e dalla Terra con un pezzo di zolfo o di ambra ; l' elettricismo rimane lì ove è stato eccitato, oppure si spande su tutto il metallo, ma non può trapassare fino al suolo, nè disseminarsi e diluirsi, se posso dir così, in tutto il globo terrestre.

4° Dopo queste prime scoperte, le invenzioni ed i progressi su questo ramo di Fisica si sono succeduti, ed intrecciati

gli uni agli altri con una grande rapidità. Fra le altre cose si conobbe che per mettere in evidenza le attrazioni elettriche era spediente appendere ad un filo di seta una pallina di midollo di sambuco (fig.116.). Anzi con questo strumento, cui chiamano *pendolo elettrico*, si vede che l'elettrico può esercitare anche delle ripulsioni. Dappoichè strisciando sulla lana un bastoncello (S) di ceralacca, e poi appressandolo al pendolo elettrico, questo ne resta attratto. Ma se avvenga che il pendolo tocchi la ceralacca, dopo fugge (fig.117.) da questessa; come osservò pel primo Ottone Guerike.

5° Se non che l'elettricità, che si svolge nella resina strisciata sulla lana, non si diporta verso un dato corpo leggiero nella maniera stessa, in cui si diporta verso il medesimo quella che si svolge nel vetro strisciato parimente sulla lana. Imperocchè quel pendolo, che è respinto dalla ceralacca, viene attratto dal vetro strisciato sulla lana: e per converso un pendolo elettrico, che sia stato in contatto con un vetro sì fatto, è respinto da questo, e rimane attratto dalla resina. Quindi l'apparenza di due diverse elettricità notata da Dufay.

6° Il pendolo coi contatti sopraddetti assume una porzione dell'elettrico, che si era svolto sulla resina, e sul vetro. Ma esso lo perde col porlo a contatto col vetro, se prima lo fu colla resina; e viceversa. È però che le due elettricità si ritengono opposte una all'altra, come in Matematica le quantità positive si oppongono alle negative.

7° Siccome poi tutti i corpi, quando mostrano gli effetti dell'elettricità, si diportano o come la resina strisciata sulla lana, o come il vetro strisciato sulla medesima; così le elettricità si suppongono essere due sole.

8° Symmer credè all'esistenza di due fluidi veramente diversi fra loro: Franklin invece sostenne esistere un solo fluido elettrico; e spiegò la opposizione dei fenomeni del vetro e della resina in un modo analogo a quello, in cui coll'unico fluido calorico si spiega il caldo e il freddo. Nella prima ipotesi, che suol dirsi degli unitarii, in ciascun corpo, quando non mostra i fenomeni elettrici, vi è l'uno e l'altro fluido nella stessa dose e in un perfetto miscuglio: allora poi un corpo mostra i loro effetti, quando i due fluidi per attrito o

per altra cagione vengano separati vicendevolmente. Nella seconda, che si usa chiamare de'dualisti, un corpo, che non mostra veruno degli effetti dell'elettrico, ne possiede tanto quanto si conviene alla sua natura: allora poi un corpo manifesta i fenomeni analoghi a quelli del vetro o della resina, quando per qualche strisciamento o altro abbia acquistato più elettrico di quello che gli spetta, o ne abbia invece perduta una porzione che gli sarebbe necessaria.

II. DEFINIZIONI. 1ª *Elettrizzare* un corpo significa conferirgli, o fare svolgere su di esso, l'elettricità.

2ª Un corpo non elettrizzato si dice essere allo *stato neutro*, o *allo stato naturale*.

3ª I corpi, che per i primi si mostrarono capaci di essere elettrizzati, furono chiamati *idioelettrici*.

4ª Furono detti *anelettrici* quelli, che non si poterono dapprima elettrizzare.

5ª Al nome di anelettrici è stato più tardi sostituito quello di *buoni conduttori*, *deferenti*, e *comunicanti*.

6ª Quei corpi, che prima si chiamarono idioelettrici, adesso diconsi *cattivi conduttori*, *coibenti*, ed *isolanti*.

7ª Si chiama *vitrea* o *positiva* l'elettricità, che si diporta come quella, la quale si svolge nel vetro strisciato sulla lana.

8ª È denominata *resinosa* o *negativa* [1] l'elettricità, che ope-

[1] I Fisici che parteggiano per Symmer sogliono usare di preferenza i nomi di *vitrea* e *resinosa*; ed i seguaci di Franklin si servono esclusivamente degli altri due, cioè di *negativa* e *positiva*. Noi useremo promiscuamente le denominazioni dei dualisti e degli unitarii: perchè non crediamo opportuno agitare qui questa intricata controversia, oppure gittarci anche solo provvisoriamente piuttosto da una parte che dall'altra. Per la qual cosa non daremo alle sopraddette appellazioni altro valore, che quello delle apparenze. E veramente stando a queste, due azioni totalmente contrarie, come sono quelle della elettricità del vetro e della resina, meritano due nomi diversi. E se mai si arriverà a dimostrare, che l'agente, da cui sono emesse quelle azioni, è proprio uno solo; sempre sarà utile seguitare a distinguere una dall'altra le due elettricità: come si deve distinguere il vento di *aquilone* da quello di *austro*, benchè ambidue sieno prodotti dall'aria medesima. Anzi per tenerci sulle generali e non pregiudicare la questione, seguiteremo a tenere il linguaggio già da noi adottato nel trattare del magnetismo; cioè diremo *omonime* due elettricità vitree, o due resinose, e chiameremo *eteronima* l'elettricità vitrea in confronto alla resinosa, e viceversa.

Digitized by Google

ra come quella, la quale si manifesta nelle resine dopo essere state strisciate parimente sulla lana.

9ª La Terra è considerata e detta il *serbatoio comune dell'elettricità*.

10° Diconsi *neutralizzate* due elettricità, che col riunirle ànno prodotto lo stato naturale.

48. Svolgimento dell'elettricità. — Passiamo ora a parlare dell'elettrizzamento, che si ottiene per istrofinìo.

I.ª PROPOSIZIONE. *Collo strisciare un corpo con un altro, sempre e nella stessa proporzione in uno dei due si svolge elettricità positiva e negativa nell'altro; ed ogni sostanza ponderabile a questo modo può essere elettrizzata.*

Dimostrazione della 1ª *parte*. Appena furono distinte le due elettricità, Wilke riconobbe che esse si producono sempre tutte e due insieme, l'una sul corpo strisciante, l'altra sullo strisciato. Tutti i fatti provano, che uno dei due fluidi non può nascere senza l'altro. Che se ordinariamente non se ne percepisce che uno solo, ciò proviene dal perdersi dell'altro nel comune serbatoio. Se due piatti (fig.118.), di qualsivoglia sostanza tenuti per manichi di vetro, si strisciano l'uno sull'altro e poi si separano bruscamente, trovansi carichi di elettricità eteronime. Due lastre di vetro strisciate insieme, due pezzi di resina trattati ugualmente, si elettrizzano uno positivamente e l'altro negativamente. Bergmann à veduto due piume d'oca elettrizzarsi insieme positivamente, e Faraday à trovato negativi due nastri di lana strisciati in croce; ma l'elettrico eteronimo si è ritrovato nelle particelle, che nell'attrito si erano staccate dalle superficie di quei corpi.

Fig. 118.

Dimostrazione della 2ª *parte*. Sovrapponendo uno sull'altro i due corpi elettrizzati per mutuo attrito in guisa per altro, che tutte le parti strisciate vengano a contatto, l'elettrizzamento sparisce; ossia le due elettricità si neutralizzano. Il che indica che esse erano in proporzioni equivalenti.

Dimostrazione della 3ª *parte*. Dopo che Dufay ebbe elet-

Digitized by Google

trizzato i corpi anelettrici, sostenendoli per mezzo di sostanze coibenti, si tentò di elettrizzare ogni sorta di corpi ed anche animali. I. Sympson elettrizzò un gatto, lisciandogli il dorso con una mano. Brydone ottenne segnali elettrici sul corpo di due individui, i quali essendo saliti sopra un masso di resina isolante, si pettinavano uno coll'altro. Colladon à veduto in alcune filande elettrizzarsi i fili di cotone, per lo strofinamento degli anelli metallici, che servono a guidarli. II. Anche l'attrito dei liquidi produce elettricità. Quando l'idrargiro ben secco viene agitato dentro un tubo di vetro; quando si fa passare a traverso i pori del legno; quando si sposta bruscamente il livello di un barometro, si trova elettrizzato il mercurio, e il recipiente. III. Ma anche gli aeriformi svolgono l'elettrico collo strofinamento. Hauksbee avendo fatto passare dell'aria a bolle a traverso il mercurio collocato sul recipiente della macchina pneumatica riuscì ad elettrizzarlo. Wilson à ottenuto l'elettrizzamento spingendo su certe lastre di vetro il vento ben secco di un soffietto. L'aria, che esce da un fucile a vento unita a un poco di polvere, si mostra elettrizzata. Il vapore, che esce da una caldaia, possiede una gran carica elettrica. Non vi è che l'attrito fra due liquidi, o fra due aeriformi che lasci qualche dubbio; ma in questi casi è molto difficile riconoscere la presenza dell'elettrico.

II. SCOLII. 1° La positività e la negatività delle sostanze è puramente relativa. Infatti il vetro s'elettrizza positivamente strisciato sulla lana, e negativamente, se venga strisciato sulla pelle di gatto, o sulle pietre dure: la resina s'elettrizza negativamente colla lana, e positivamente col tuffarla nell'idrargiro ed estrarnela subito [1].

2° Ma ciò dipende spesso dalla levigatezza: perchè, strisciando il vetro levigato sullo smerigliato, questo prende la negativa, e quello la positiva. Dipende anche dalla temperatura: chè il corpo meno caldo si elettrizza in più, ed il

[1] Le sostanze meglio elettrizzabili sono le seguenti: pelle di gatto, vetro levigato, lana, piume, legno, carta, seta, gomma lacca, resina, solfo. Ciascuna di esse prende l'elettricità vitrea, se venga strisciata con una di quelle che la segue; prende poi la resinosa, nell'attrito con una di quelle che la precede.

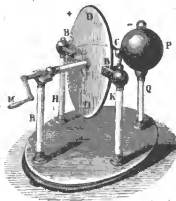
Digitized by Google

più caldo in meno. Infatti il vetro strisciato sopra un foglio di piombo prende l' elettricità positiva; ma, se premendolo fortemente si viene a riscaldare, s'elettrizza negativamente. Può dirsi in generale, che le molecule, le quali possono più facilmente spostarsi, assumono l' elettricità negativa, e positiva le altre.

3° Ad ottenere un più copioso e comodo svolgimento di elettricità, suole adoperarsi uno strumento chiamato *macchina elettrica*. La più semplice, che possa ora descriversi, è la seguente (fig.119.). Un disco (D) di vetro è raccomandato ad un asse (A) pure di vetro, e per mezzo di questo è sostenuto sopra una colonnetta (Q), in guisa per altro, che con un manubrio (M) l'asse medesimo, e quindi anche il disco, può esser messo in rotazione. Ciascuna di due altre colonne di vetro (H, K), poste nel piano del disco, porti due batuffoli (B,B) di lana, spalmati con amalgama di stagno. I quali due batuffoli, o cuscinetti, abbraccino e stringano fra loro l'orlo del disco (D), e per mezzo di un arco C metallico comunichino con una palla (P) di ottone, isolata sopra un' altra colonna di vetro (R). Lo strofinio, che nasce, quando si fa rotare il disco fra i cuscinetti, eccita elettricità positiva sul disco, e negativa sui cuscinetti; e quest'ultima, per mezzo dell'arco conduttore (C), si spande sulla sfera (P) in tanta copia, da mostrare con tutta evidenza la varietà ed energia de' suoi effetti.

Fig. 119.

4° Un'altra macchina, per la quale l'elettricità si svolge per attrito, e si accumula per semplice conducimento, è quella chia-

Digitized by Google

mata *idroelettrica*, ed anche di *Armstrong* dal nome del suo inventore. Il vapore (fig.120.), che si svolge da una caldaia cilindrica a cammino interno, simile a quella delle locomotive, quando è aperta la chiave (C), si getta in un serbatoio cilindrico orizzontale (K), poi passa in una cassetta (B), e per mezzo di varii tubi, (A), dopo di avere urtato contro una sbar-

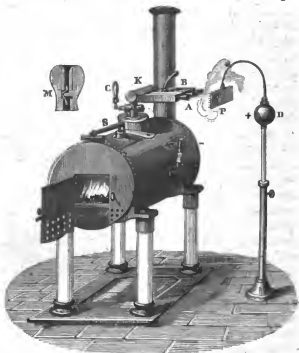



Fig. 120.

ra (M), esce all' aperto. Esce per altro mischiato a delle goccette d'acqua: dappoichè nella cassetta (B) vi è un lucignolo di cotone, dal quale stilla continuamente dell' acqua, perchè è intinto in questa. Il vapore dunque, in parte condensato, va a percuotere una piastra (P) metallica munita di punte, e comunicante per un arco conduttore ad una sfera isolata (D).

Con ciò questa sfera si trova elettrizzata positivamente, mentre la caldaia mostra l'elettricità negativa.

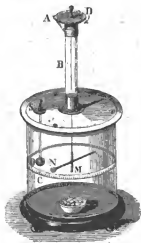
5° Intorno agli svolgimenti dell'elettrico rimane a notare un'altra cosa; ed è che, sebbene lo stropicciamento sia il mezzo più ordinario e conosciuto di svolgere l'elettricità, ciò non ostante non è il solo. Giacchè può elettrizzarsi un corpo col percuoterlo, limarlo, riscaldarlo, col premerlo, e col separarlo rapidamente da un altro, su cui fortemente aderiva.

49. Attrazioni e ripulsioni elettriche. —

I. SCOLII. 1° I corpicciuoli leggieri vengono attratti o respinti dal corpo elettrizzato, anche quando fra questo e quelli si frappone un coibente; ma, se invece si frapponga un metallo comunicante col suolo, essi non soffrono più attrazione e ripulsione veruna.

Fig. 121.

2° Ogni corpo leggiero, ed ogni pendolo elettrico è atto a manifestare la presenza dell'elettricità, ma a volerne misurare la quantità colla più grande esattezza possibile si usa il così detto *piano di prova*, e la *bilancia di torsione*, o *di Coulomb*. Il primo consiste (fig. **121**.) in una sferetta (O), o in un dischetto deferente (N) sostenuto da un'astarella (MN, SO) coibente. La bilancia di Coulomb è analoga a quella che abbiamo già descritta (**43**. I. 3°). Qui per altro la linea di fiducia (A) suol essere fissa, e girevole il micrometro, essendo a questo raccomandato il filo d'argento; di più questesso filo porta un piano di prova (NM) orizzontale; e le ripulsioni sono prodotte da un altro piano di prova (SO), il quale prima viene elettrizzato, e poi introdotto verticalmente nella cassa di vetro. Con ciò i due piani di prova si toccano, e l'elettrico si comunica da uno all'altro; e quindi ne nascono le ripulsioni. L'energia delle quali vien misurata, contando sul micrometro il numero dei gradi di torsione che soffre il filo,

Digitized by Google

quando il piano di prova orizzontale mobile è avvicinato al piano fisso verticale il doppio, il triplo, ecc. di prima.

II. DEFINIZIONI. 1ª I coibenti, poichè non recano impedimento alle azioni elettriche, diconsi *dielettrici*.

2ª Sono chiamati *adielettrici* i deferenti, in quanto impediscono l'effetto delle attrazioni o ripulsioni dell'elettricità.

3ª Una lastra di metallo comunicante col suolo, siccome difende dalle azioni elettriche i corpi che tiene dietro di sè, vien detta *lamina riparatrice*.

4ª La quantità di elettrico esistente in un dato corpo suol dirsi *carica elettrica*.

5ª Chiamansi *elettroscopii* gli strumenti che indicano la presenza dell'elettrico.

6ª Sono detti *elettrometri* quelli, che ne misurano la carica.

III. POSTULATO. *Col mettere a contatto due sfere conduttrici uguali in tutto, una delle quali sia elettrizzata e l'altra no, la elettricità deve spartirsi ugualmente su di ambidue.* Verità tanto ovvia e naturale, che non à bisogno di essere dimostrata.

IV. PROPOSIZIONI. 1ª *Le attrazioni e ripulsioni elettriche sono proporzionali alla carica.*

Dimostrazione. Si elettrizzi una sfera metallica, e poi se ne misuri l'energia col piano di prova, e colla bilancia di Coulomb. Dopo ciò si faccia comunicare la sfera elettrizzata con un'altra uguale, ma neutra; con che la carica si sarà ugualmente ripartita sulle due sfere. Ebbene: misurando di nuovo la forza della prima, si trova diminuita di metà. Mettendola un'altra volta in comunicazione colla stessa sfera già diselettrizzata, l'energia delle attrazioni e ripulsioni diviene la quarta parte. Dunque ecc.

2ª *Due corpi elettrizzati eteronimamente si attraggono, omonimamente elettrizzati si respingono.*

Dimostrazione I. La pallina del pendolo elettrico, che tocca il vetro strisciato sulla lana, si elettrizza (come è manifesto dal principiare essa stessa ad attrarre i corpi leggieri), e si elettrizza positivamente; perchè è in comunicazione coll'elettricità del vetro. Ebbene: essa fugge dal vetro medesimo, e invece corre verso la resina strisciata sulla lana. II. Il

pendolo elettrico, che toccò la resina —*, si allontana da questa, e si getta sul vetro +*. Ma in tal caso essa medesima à elettricità —*. Dunque ecc. III. Le due palline, dopo che furono a contatto una colla detta resina, l'altra col vetro elettrizzato come sopra, si corrono incontro: ma, se ambedue toccarono il vetro o ambedue la resina, fuggono una dall'altra. Dunque ecc.

3ª *Le azioni elettriche si propagano tutto intorno per linee rette.*

Dimostrazione. A sospendere le attrazioni, che esercita l'elettricità verso un dato corpo, è necessario che l'adielettrico si trovi nella retta che congiunge l'attratto coll'elettrizzato. Infatti, se dietro la palla conduttrice della macchina elettrica venga collocata una lamina riparatrice, e poi si giri intorno alla detta sfera con un pendolo elettrico, questo mostra le attrazioni ogni qual volta si trova là, donde si vede il conduttore della macchina; invece le attrazioni cessano, quando il pendolo rimane riparato per la lamina adielettrica [1].

4ª *La energia delle attrazioni e ripulsioni elettriche diminuisce col quadrato della distanza.*

Dimostrazione. Poichè le azioni elettriche si propagano tutto intorno ad un punto elettrizzato, come dal centro di una sfera i raggi geometrici vanno a ciascun punto della superficie sferica; dee valer qui l'argomento stesso, onde si prova la legge del quadrato della distanza per la intensità della luce, e per l'attrazione della gravità. Ma anche senza ciò Coulomb à provato sperimentalmente questa stessa verità per mezzo della sua bilancia, e con un metodo analo-

1 Nè fanno opposizione i fatti riportati da Faraday e qualunque altro fatto consimile, pel quale si veggono cessare le azioni elettriche ad una distanza bastantemente grande dall'adielettrico, e rinforzarsi a minor distanza da questo, ossia dove l'attraendo è anche più riparato. Imperocchè, a volere anche supporre che non vi sia o nella lamina riparatrice o nell'aria veruna condizione, la quale nelle minute sperienze fatte con ripari e sopra corpi assai piccoli, disturbi l'effetto principale; i fatti obbietti debbono aversi in conto di eccezioni: come quelli della diffrazione della luce, e dell'adiatermità della reticola metallica nella lampada di Davy, non fanno che un'eccezione alla legge del cammino rettilineo della luce e del calorico.

go a quello tenuto per la legge analoga del magnetismo. La quale dimostrazione sperimentale è una conferma della legge della propagazione per sfere delle azioni elettriche.

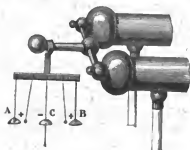
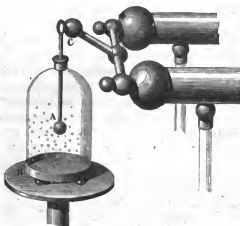
Fig. 122.

V. ALTRI SCOLII. 1° Siccome le attrazioni e ripulsioni elettriche si ascrivono all'elettricità; la superiore legge può tradursi così: *due elettricità omonime si respingono, e due eteronime si attraggono*. Ma questa traduzione non decide la controversia, se in realtà le attrazioni si facciano dall'elettrico da una parte e dalle molecule ponderabili dall'altra, e le ripulsioni avvengano fra le sole particelle dell'elettrico, o fra le sole molecule dei ponderabili, come vorrebbero gli unitarii; oppure se le une e le altre si facciano propriamente fra le molecule elettriche, secondo che sono eteronime od omonime fra loro, come sostengono i dualisti.

Fig. 123.

2° A queste attrazioni e ripulsioni si deve lo *scampanìo elettrico*; cioè il suonare di tre campanelli (fig.122.), fra i quali pendono isolate due sferette metalliche, e dei quali il mediano (C) è isolato dalla macchina, e comunicante col suolo; i due laterali (A, B) viceversa. Ciò accade, perchè i pendoli attratti dai

campanelli (A e B) si gettano su questi, e si elettrizzano; poi essendo respinti cadono sopra il mediano (C) e si diselettrizzano; e così di sèguito.

3° Alle medesime attrazioni e ripulsioni si deve il saltellare (fig. 123.) di piccole figure o di corpicciuoli leggieri collocati fra due conduttori, uno (A) comunicante colla macchina elettrica, e l'altro (B) col suolo.

Fig. 124.

4° Alle ripulsioni stesse devesi la misura della carica elettrica per mezzo del così detto *elettrometro a quadrante* di Henley. Il quale (fig. 124.) consiste in un pendolo comunicante corredato di un semicerchio graduato, avente il suo centro nel punto di sospensione del detto pendolo. Coll'elettrizzare la colonnetta (*d*) e quindi anche il pendolo, che è ad esso affidato, nasce una ripulsione, per la quale il pendolo si solleva di un arco tanto più grande, quanto è maggiore la carica.

Fig. 125.

5° L'elettrometro di Volta *a paglie*, o *a liste d'oro* è costituito (fig. 125.) da una boccetta di vetro, pel cui collo trapassa un' asta metallica, la quale termina superiormente in una sferetta (C) deferente, ed inferiormente in due pagliuzze a pendolo (M, N), o in due liste (M, N) di foglia d'oro. Col portare il corpo elettrizzato (A) al contatto della sfera deferente (C), l'elettrico si comunica a questa, all'asta, ed alle liste; e così questesse, fuggendo una dall'altra, divergono quasi in esatta proporzione della carica elettrica.

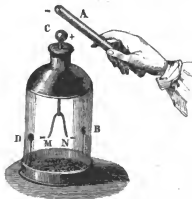
Digitized by Google

6° A queste ripulsioni si deve il sollevarsi che fanno le striscie di carta attaccate per un capo ad un' asta metallica comunicante col conduttore della macchina elettrica, e costituenti il così detto *pallone elettrico*; come il rizzarsi dei capelli di un uomo isolato con vetro o zolfo dal terreno, e comunicante per mezzo di una mano col conduttore medesimo.

Fig. 126.

59. Intensità, e sede del fluido elettrico. —

I. DEFINIZIONE: Si chiama *intensità* ed anche *densità*, *condensazione*, *accumulamento* [1] il rapporto che passa fra la quantità o carica dell'elettrico, e la estensione, che esso occupa.

II. PROPOSIZIONI. 1ª *L' elettrico à la tendenza di recarsi alla superficie de' corpi.*

Dimostrazione. I. Si elettrizzi una sfera metallica (fig. 126.), vuota, isolata, e superiormente aperta. Se si tocchi all'esterno col piano di prova, questo per comunicazione diviene atto ad attrarre i corpi leggieri; se poi il piano tocchi la sfera nell'interno, non mostra verun carattere di elettrizzamento. II. Un anello (fig. 127.) metallico isolato (AB) sostenga un

Fig. 127.

[1] *Condensazione, densità, e accumulazione* considereremo come altrettanti nomi esprimenti la intensità: sebbene alcuni, i quali opinano che la elettricità sia compressibile, usino esclusivamente i primi due vocaboli, e li usino nel loro proprio significato; altri invece, che la ritengono per incompressibile, parlino solo di accumulamento.

cappuccio (ACB) fatto di rete metallica, è munito di due fili (CN, CBM) di seta, pei quali può rovesciarsi a piacere, come una calzetta. Elettrizzandolo, e poi esplorandolo col piano di prova, si mostra sempre elettrizzato all'esterno, e neutro internamente. III. Si comunichi l'elettrico ad un globo metallico isolato (fig 128.); e poi questo si ricopra con due emisferi cavi (H, K) di metallo ed isolati per manichi di vetro, i quali combacino esattamente colla sfera elettrizzata. Si vedrà che i corpi leggieri restano attratti dagli emisferi. Anzi se questi tutt'ad un tratto si stacchino contemporaneamente dalla sfera, e si portino a qualche distanza, seguitano

Fig. 128.

a manifestare ancora i segnali elettrici; quando invece la sfera si mostra diselettrizzata.

2ª *L'intensità dell'elettrico è maggiore nelle parti sporgenti e più curve, e minore nelle rientranti e meno curve.*

Dimostrazione. Coulomb col suo piano di prova e colla sua bilancia trovò, che su di una sfera la intensità elettrica è la medesima in ogni parte: ma su di una ellissoide essa è massima negli absidi; come pure su di un conduttore che abbia dei sottosquadri, o in due sfere metalliche a contatto, nelle parti rientranti è minima e quasi insensibile, ed assai grande nelle sporgenti e libere.

III. COROLLARII. 1° Dunque la intensità dell'elettrico aumenta col diminuire la superficie esterna e libera, diminuisce invece coll'aumentare la superficie medesima,

2° Dunque coll'aggomitolare una catena metallica elettriz-

zata, debbono rinforzarsi i segni o effetti dell'elettricità; debbono questi invece indebolirsi coll'aprire, esempigrazia, la canna di un canocchiale metallico, che sia stato elettrizzato mentr' era chiuso.

3° Dunque un conduttore puntuto, ossia terminante in una o più punte, possiede sulle punte la più grande intensità.

51. Passaggi dell'elettrico di uno in altro corpo.— I. SCOLII. 1° I migliori deferenti dell'elettrico sono i metalli, l'antracite, la piombaggine, il carbone di legno calcinato, le piriti, la galena, il lino. Conducono men bene l'elettrico le dissoluzioni saline, l'acqua liquida e vaporosa, i vegetali, il corpo umano, e tutti i corpi umidi. Sono cattivi conduttori il solfo, la resina, la gomma lacca, la guttaperchа, l'essenza di trementina, la seta, il vetro, le pietre preziose, i carboni non calcinati, gli olii, e gli aeriformi asciutti.

2° Non vi à un perfetto deferente, nè un perfetto coibente; e sembra che il riscaldamento diminuisca la coibenza.

3° L'elettrico che viene svolto, o è stato comunicato in una parte di un deferente, da sè si distende sulle altre parti, e le invade tutte.

4° L'elettricità si spande continuamente e quasi insensibilmente nell'aria circostante, e nei sostegni coibenti; specialmente se questi sieno umidi, e se i deferenti, sui quali essa si ritrova, sieno terminati in punte. Comunemente si ritiene che questo fatto abbia luogo anche nel vuoto boileano; sebbene alcuni ritengano, dietro certe recenti sperienze, che, almeno per una piccola carica, ciò non avvenga.

5° Se ad un corpo fortemente elettrizzato si esibisca a piccola distanza un corpo terminato in punte, questo si elettrizza, e si diselettrizza quello; cosicchè, stando alle apparenze, le punte ànno anche la facoltà di tirare a sè l'elettrico dai corpi vicini.

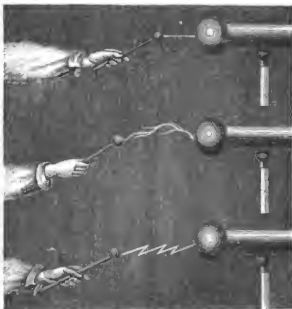
6° Se poi il corpo, che si esibisce all'elettrizzato, sia ottuso, allora l'elettrico si slancia con impeto da uno all'altro.

7° Ma l'elettricità, tutte le volte che è impedita di spandersi o di passare da un corpo ad un altro, rimane in uno stato violento, e fa un continuo sforzo per allargarsi in più grande spazio, vincere l'impedimento, che le viene opposto

Digitized by Google

dal coibente circostante, distaccarsi dal corpo, su cui si ritrova, e gettarsi su qualsivoglia prossimo deferente.

8° Quando l'elettrico passa da un corpo ad un altro cessa questo sforzo, ed è sospesa ogni attrazione e ripulsione, ma si spande tutto intorno un certo odore particolare; e nell'aria, che circonda il corpo elettrizzato, si eccita un venticello proveniente dalla ripulsione, che deve esercitarsi fra le molecule dell'aria elettrizzate omonimamente fra di loro.

Fig. 129.
Fig. 130.
Fig. 131.

9° Anzi su di una punta acuta e $+^a$, o smussata e $-^a$ si forma una lucente aureola; si stacca invece un cono di luce violetta da una punta acuta e $-^a$, o smussata e $+^a$. E quando l'elettrico si getta impetuosamente da un corpo ad un altro, s'ode un fragore, e guizza una luce, che a piccola distanza è rettilinea (fig. 129.), a distanza maggiore è ramificata (fig. 130.) e a distanza ancora maggiore serpeggia (fig. 131.) a zigzag. Ove poi il corpo, su cui l'elettrico si getta o da cui si stacca, sia l'umano, si soffre una sensazione dolorosa.

Digitized by Google

10° Sia un vase di forma ovale (fig.132.), munito di chiavetta per potervi fare il vuoto boileano, e di due aste metalliche verticali, e queste sieno terminate in due pallette, poste ad una giusta distanza fra loro. Ove si faccia comunicare una delle aste colla macchina elettrica e l'altra col suolo, si veggono scoccare delle liste sinuose di fuoco da una all'altra sferetta. Rarefacendo alquanto l'aria, queste liste divengono meno sinuose, e si slanciano a distanza più grande; fatta la rarefazione massima, l'elettricità passa continuamente, formando fra le due sferette una sferoide luminosa. Che se facciasi il vuoto in un lungo tubo di vetro (come sarebbe quello della caduta dei gravi), di cui un capo si metta in comunicazione colla macchina, e l'altro col suolo; è bello vedere quando una, quando più serpi di fuoco leggermente violette guizzare per tutta la lunghezza del tubo medesimo.

Fig. 132.

II. DEFINIZIONI. 1ª Si chiama *diffusione* lo spandersi che fa l'elettrico su tutte le parti di un medesimo conduttore.

2ª Il rifluire dell'elettrico sopra un deferente o per diffondersi nel terreno, o per neutralizzarsi col suo eteronimo, chiamasi *corrente*.

3ª La corrente è detta *istantanea* o *continua*, secondo che il passaggio sopra un dato deferente accade in un tempo inapprezzabile, o per un tempo abbastanza lungo. Ma per *corrente* senz' altro s'intende sempre un flusso, che duri per un tempo valutabile.

4ª Supponiamo che la corrente venga rappresentata da un individuo disteso sul conduttore colla testa dalla parte del corpo negativo, e i piedi verso il positivo, e colla faccia rivolta ad un prossimo ago calamitato, o (se questo non v'è) rivolta al suolo. La destra e la sinistra di quest' individuo ideale chiamansi *la destra* o *la sinistra della corrente*.

5ª Si dice *dispersione* il disseminarsi dell' elettrico per l' aria e pei sostegni coibenti, od anche per le punte.

6ª L'apparente entrare dell' elettrico nel corpo puntuto è detto *assorbimento*.

7ª Il violento slanciarsi dell' elettrico da un corpo ad un altro à nome *scarica*.

8ª Lo sforzo, che fa l'elettricità per iscaricarsi e disperdersi intorno, è detto *tensione* [1].

9ª Chiameremo *tensione indifferente* quella, per la quale l' elettrico si sforza di riversarsi dovunque; e *tensione parziale* o *polare* l' altra, onde l'elettricità è tesa e si spinge verso una determinata direzione.

10ª Il venticello prodotto dall' elettricità dicesi *aura*.

11ª L'aureola di luce che apparisce sulla punta è detta *stelletta*.

12ª Chiamasi *fiocco* o *pennello elettrico* il cono di luce, che emana dal corpo elettrizzato.

13ª La lingua di fuoco, che vedesi (fig. 129. 130. 131.) nella scarica, si dice *scintilla*.

14ª La sferoide luminosa, che si costituisce nel vuoto fra due deferenti, à avuto nome *uovo elettrico*, o *uovo filosofico*.

15ª Il fragore, che si ode nella scarica, è detto *tuono*.

16ª Vien chiamato *puntura* il dolore prodotto dalla scarica.

17ª Suol dirsi *latente* o *dissimulata* la elettricità, che non esercità attrazioni nè ripulsioni verso qualche corpo, che le si appressi.

1 Nè i primi che introdussero l'uso della parola *tensione*, nè quelli che l'adottarono, si sono presi premura di darne una ben netta e spiccata definizione: anzi dall'uso, che ne ànno fatto, è apparsa anche meglio l'equivocazione. Tutti convengono nel dire che *tensione* indica lo sforzo che l'elettrico fa per diffondersi tutto intorno, e gittarsi sui corpi vicini. Ma questo è duplice; dacchè altro è il conato, che fa l'elettrico per disperdersi nell'aria, e in qualsivoglia direzione; altro è quello, pel quale l' elettricità si spinge determinatamente ed unicamente verso la sua eteronima. Il primo puo dirsi tensione *indifferente* o *in ogni senso*; il secondo può distinguersi col nome di tensione *parziale* o *in un senso determinato*. Alcuni poi arrivano perfino a negare la tensione in quei casi, nei quali l' elettrico non produce di fatto nè attrazioni, nè ripulsioni, come accade nella bottiglia, e quando fra due corpi elettrizzati eteronimamente si frappone un pendolo elettrico. Questo è un fatto tutto diverso.

Digitized by Google

18ª Qualunque cosa, che si riferisca all'elettricità corrente, prende l'epiteto di *elettrodinamica*; prende invece quello di *elettrostatica* ogni cosa, che abbia relazione all'elettricità ferma.

III. PROPOSIZIONE. *La corrente elettrica fa deviare l'ago calamitato, spingendone il polo australe alla sua sinistra.*

Dimostrazione. Al conduttore della macchina elettrica si annetta un filo metallico, e fattolo passare (fig. 133.) sotto e sopra ad un ago calamitato (*ab*) sospeso a pendolo ma nel medesimo piano verticale con questo, si metta in comunicazione col suolo. Quando si gira il disco della macchina, e l'elettrico scorre giù nel terreno, l'ago si agita alquanto mostrando una tendenza ad uscire dal piano del filo. Che se si adoperi (fig. 134.) un ago astatico (*a'b'a b*), ed il filo metallico si faccia partire dal conduttore della macchina idroelettrica, si fissi nel piano stesso verticale dei due aghi, facendolo passare prima (in *qp*) sotto l'ago inferiore, poi (in *mn*) fra i due aghi stessi, e finalmente si leghi alla caldaia della detta macchina; la tendenza degli aghi a deviare verso la sinistra della corrente diviene assai manifesta. Anzi, se il filo sia bene isolato, cioè vestito di seta e spalmato di resina, e poi più e più volte aggomitolato intorno ad un telarino (fig. 135.), dentro cui s' introduca uno dei due aghi del sistema astatico, e sopra al quale (telarino) sia fissato un quadrante graduato, e trovisi l'altro ago; si osserverà una deviazione di varii gradi. Si prova poi che questo spostamento è regolato dall' andamento della corrente; perchè, facendo cangiar direzione a quest'ultima, la deviazione dell'ago da orientale, verbigrazia, diventa occidentale.

Fig. 133.

Fig. 134.

IV. SCOLII. Premesse queste nozioni, ora siamo in grado di spiegare varii importanti fenomeni.

1° La più importante fra le spiegazioni, che traggonsi dalle

leggi dei passaggi dell'elettrico di uno in altro corpo, è quella del fulmine. La scintilla elettrica nella sua luce e nel suo tuono imita, com'è manifesto, la folgore. Ma fu Franklin, che pel primo si assicurò dell'origine elettrica di essa con esperienze dirette. Egli fece salire nell'aria un *cervo volante*, terminato in punte metalliche comunicanti con un sottil filo pur metallico, intrecciato colla funicella del cervo medesimo; e riuscì a cavarne delle scintille identiche in tutto a quelle della macchina elettrica. Dopo di lui molti altri innalzarono sui più alti edifizii delle aste metalliche appuntate, e si verificò la cosa stessa; tantochè Richman a Pietroburgo rimase vittima di una grossa scintilla attirata per la virtù assorbente delle punte, e trasportata fino a lui per la facoltà conduttrice dei metalli. Così la spiegazione del fulmine si collegò naturalmente all'invenzione del *parafulmine*. Questo è composto di un grosso filo di ferro acuminato, il quale si solleva verticalmente dalle parti più alte dell'edificio, e discende fin sotto il lastrico della strada, dividendosi colà giù in più rami diretti in sensi diversi. L'elettrico, che si scaricherebbe sull'edifizio, è assorbito dalla punta, e pel conduttore metallico è condotto a dissiparsi nella terra. Accade l'inverso, se il fulmine, invece di essere *discendente*, sia *ascendente*.

Fig. 135.

2° Si comprende ora con quanto fondamento si ritengano

per vere *stellette elettriche* i fenomeni chiamati *stelle di S. Elmo*, oppure *Castore e Polluce.*

3° All'elettrico pure ed al magnetismo si ascrive al presente l'*Aurora polare*, per la somiglianza della sua luce a quella dell'elettricità nell'aria rarefatta, e per le perturba-

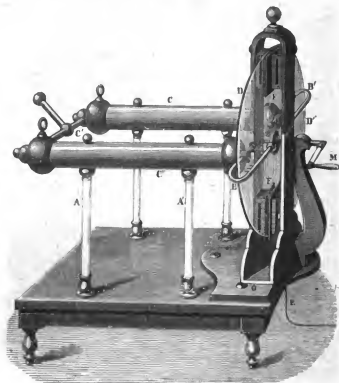



Fig. 136.

zioni contemporanee dell'ago calamitato. Perciò queste meteore si chiamano anche elettriche.

4° Nella macchina elettrica ordinaria (fig.136.) i conduttori (C, C', C'') si caricano di elettricità positiva: perchè essi presentano al disco (D) varie punte metalliche; le quali (apparentemente almeno) assorbono l'elettrico svoltosi sul disco

Digitized by Google

medesimo. Anzi ad ottenere una carica più copiosa è utile fare rifluire sul terreno, per mezzo di una catenella metallica (E), l'elettricità negativa dei cuscinetti (F, F).

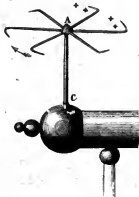
5° Vi sono anche delle macchine elettriche, che dànno contemporaneamente l'elettricità positiva e la negativa. Il quale effetto si ottiene, perchè il disco da elettrizzarsi, come nella macchina di Winter, o il gran tubo di vetro, come in quella di Nairne, è isolato; e tanto le punte, come i cuscinetti comunicano con un conduttore speciale.

6° Nelle macchine elettriche la parte del disco contenuto nello spazio, che è percorso dal disco medesimo nello scorrere dai cuscinetti sino alle punte, suole coprirsi con un cappuccetto di seta, per impedire che l'elettrico svolto dai cuscinetti non si disperda prima di presentarsi alle punte. È utile eziandio verniciare le colonnette, e tutti i sostegni isolanti di vetro, affinchè questo per la sua affinità coll' acqua non s' inumidisca, e perda la coibenza.

Fig. 137.

7° Se la virtù assorbente delle punte (della quale più tardi potremo assegnare la cagione) spiega la macchina elettrica; la loro virtù disperdente spiega il così detto *molinello elettrico*. Consiste questo in 4 o 6 raggi metallici (fig. 137.) ripiegati nell' estremità loro tutti orizzontalmente e nello stesso senso, acuminati, e fissati ad un cappelletto pesante deferente (A). Il quale, essendo concavo nella sua parte inferiore, vien posato in bilico sopra un perno (C) parimente metallico e comunicante col conduttore della macchina elettrica. Or bene: all'elettrizzarsi di questa, le punte disperdono la loro elettricità nell' aria; e però sono da questa respinte, ed obbligate a girare indietreggiando.

8° Si abbia un vasetto metallico (fig. 139.), in cui entri isolato (cioè racchiuso dentro un tubetto di vetro) un filo (A) deferente, il quale internamente si ripieghi e termini a

Digitized by Google

piccola distanza dalla parete del vase medesimo. Questo stesso (D) si empia di un miscuglio di idrogeno e di aria, e si chiuda con sughero (B); e poi, tenendolo in comunicazione col terreno, si approssimi al conduttore (C) della macchina. Allo scoccare della scintilla fra il filo metallico e la parete del vase, che perciò è chiamato dal nome del suo inventore *pistola di Volta*, si determina la combinazione dell'idrogene coll' ossigene dell' aria, e nasce il vapore d' acqua; il quale è così dilatato, per l' alta temperatura dovuta alla combinazione, che il turacciolo è lanciato lontano con forte detonazione.

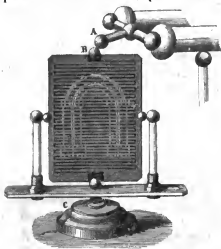



Fig. 138.

9° Se serva (fig. 138.) da conduttore (ad una corrente istantanea della macchina) una lista (BC) di stagnuolo, nella quale sieno qua e là delle brevi interruzioni, su ciascuna di queste scocca contemporaneamente una stelletta: fenomeno che si chiama *del quadro* o *del matraccio* o *del tubo scintillante*, secondo la forma del sostegno di vetro, su cui lo stagnuolo è incollato.

10° Fino a questi ultimi tempi si è creduto che il fulmine venisse prodotto dalla infiammazione dei sali, delle materie sulfuree, e di altre sostanze combustibili disseminate nell'atmosfera. Sembrava allora, che esistesse la più grande analogia tra gli effetti delle armi da fuoco, e la saetta. Ma dacchè si sono imparate a conoscere le proprietà del fuoco elettrico; dacchè si è dimostrata l' esistenza di questo nell'atmosfera; dacchè si è veduto che la materia del fulmine resta attratta dalle punte, e scorre a preferenza su pei me-

talli; non è più rimasto verun dubbio sull'origine di questa meteora : anzi si è trovato il modo di riparare gli edificii dai suoi funesti effetti. Di che imbaldanziti quelli, che per loro somma sventura pongono in non cale le salutari dottrine della fede, credettero poter deporre ogni timore della giustizia di Dio, e negare ogni suo intervento nelle faccende mondane. Quasi che il riconoscere la Provvidenza importi, che Iddio medesimo, senza veruno strumento o causa seconda, produca quegli effetti, che la fede ed anche la scienza ci insegnano ad attribuirgli. Stolti! Chè non veggono come gli agenti fisici ànno ricevuto da un Essere infinito quelle poderose forze che posseggono; e che se noi abbiamo ricevuti da Dio i mezzi e le cognizioni per ripararci da molti mali, non ci è peraltro concesso di sottrarci da ogni castigo, da ogni prova, e di sfuggire la mano dell'Onnipotente.

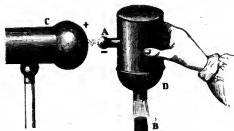



Fig. 139.

ARTICOLO III.

INFLUENZA ELETTROSTATICA.

52. Legge fondamentale. — Non solo può elettrizzarsi un corpo per attrito, per riscaldamento, o per comunicazione ; ma anche per la sola presenza di un corpo elettrizzato, separato da un coibente.

1. DEFINIZIONI. 1ª L'elettrizzamento prodotto senza verun passaggio, ma per la sola presenza di un corpo elettrizzato, chiamasi *induzione*, *influsso o influenza*, e da qualcuno anche *attuazione*.

2ª Il corpo elettrizzato, che esercita l'influsso, è detto *influente* o *inducente*.

3ª L'elettrizzato a questa maniera dicesi *indotto* o *influito*.

II. PROPOSIZIONE. *Un conduttore isolato in presenza di un elettrizzato si elettrizza; con questa legge, che nel lato prossimo all'inducente si addensa l'elettricità eteronima all'influitrice, e l'omonima nel lato remoto.*

Dimostrazione della 1ª *parte*. Si appressi (fig. 140.) al conduttore (A) della macchina elettrica un cilindro orizzontale isolato (BC), al quale sieno annessi dei doppii pendoli comunicanti, cioè dei fili dorati, ciascuno dei quali termini in due palline di midollo di sambuco; oppure sul conduttore medesimo sieno innalzate delle aste metalliche, ciascuna delle quali sostenga un pendolo elettrico. Appena si fa girare il disco della macchina, i doppii pendoli fuggono uno dall'altro, ed i semplici si allontanano dall'asta deferente, a cui

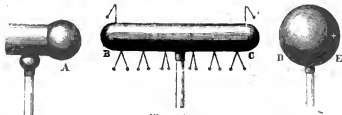



Fig. 140.

sono appesi. Il che prova, che essi sono elettrizzati, e lo sono specialmente perchè comunicano col cilindro, il quale, respingendo da sè altri corpi esposti com'esso all'influenza, mostra di essere fortemente elettrizzato. Or questo elettrico non è passato sul cilindro, nè per comunicazione, nè per assorbimento: perchè si frappone un coibente; perchè non esistono punte; perchè non si avverte veruna diminuzione sul conduttore; perchè finalmente (e questo è ciò che più monta) si sperde ogni segno di elettricità sul cilindro, col solo allontanarlo dal conduttore.

Dimostrazione della 2ª *parte*. I pendoli tanto più divergono, quanto distano maggiormente dal mezzo. Inoltre appressando un bastoncello di resina, elettrizzata negativamente, ai pendoli dell'influito, se l'influente è +°, fuggono i prossimi all'influente, e sono attratti i remoti. Si osserva l'opposto, quan-

Digitized by Google

do l'influente è —°. Dunque ecc. E questo conferma vie meglio che qui non si tratta di un passaggio, ma di un vero svolgimento di elettricità.

III. SCOLII. 1° L'influsso si considera come l'effetto della legge delle attrazioni e ripulsioni fra le elettricità o eteronime od omonime: e si spiega così. Il corpo influito possedeva, come tutti i corpi allo stato neutro, l'una e l'altra elettricità: finchè queste erano mescolate insieme, i loro effetti si elidevano a vicenda, e non si manifestavano. Ma l'elettrico dell'influente chiama a sè l'eteronimo, e respinge lontano l'omonimo; così questi rimangono separati, e principiano ad apparire ambidue [1]. Questo nel linguaggio degli unitarii equivale a dire che la elettricità dell' influente positivo caccia lungi da sè l'elettrico naturale dell'influito; e che la sostanza ponderabile dell'influente negativo attrae verso di sè l'elettrico dell'influito.

2° Il corpo influito (BC) esercita un consimile, ma più de-

1 Questo concetto assai difficilmente si salva, ove si accetti la teòria dell' induzione proposta alcuni anni sono dal Melloni. Questi mise in dubbio tutte le esperienze de' suoi antecessori sull' influsso, e dichiarolle viziate; specialmente perchè i doppii pendoli si trovano esposti all'influsso diretto dell'inducente; e però propose di ripararneli con una lamina deferente comunicante col suolo. Il che avendo esso fatto, vide in tutti i detti pendoli l'elettrico omonimo all' influente; e ne dedusse che su tutto il cilindro influito debba esistere l' una e l' altra elettricità: ma con questa differenza che la omonima all' induttrice à intensità minima nell'estremo prossimo, e massima nel remoto, e viceversa l'eteronima. Quando la cosa fosse così; non si saprebbe più dare una spiegazione soddisfacente dell' influsso. Ma così non dev' essere: sia perchè ciò non sembra provato dalle esperienze di Melloni, sia perchè l' opposto è fondato sopra esperienze in numero ed in evidenza ineluttabili: fra le quali è di grande interesse un'ultima elegantissima del Professor Zantedeschi, fatta appositamente con un suo speciale elettroscopio, e varie altre istituite dall' altro celebre Fisico italiano Belli. Quello che sembra potersi dedurre dai fatti opposti dal Melloni è, che la elettricità omonima, nel caso che il corpo influito abbia sottosquadri, non va precisamente e solo nei siti remoti, ma in ogni luogo in qualche maniera riparato dall' azione dell' influente. Come pel primo dimostrò nel 1855 l'Autore di questi Elementi in un opuscoletto intitolato: *Sulla nuova teoria della induzione elettrostatica proposta da Macedonio Melloni, parere del professor Francesco Regnani.*

bole, influsso in un secondo conduttore (DE) parimente isolato, e questo in un terzo; e così di sèguito.

IV. COROLLARII. 1° Dunque l'elettricità non attrae veramente, che corpi elettrizzati eteronimamente, e mai i neutri. Perchè essa, prima di attrarli, certamente influisce su di essi, e li elettrizza in modo, che le due elettricità eteronime rimangano in faccia una all'altra.

2° Dunque fra due corpi omonimamente ma disugualmente elettrizzati deve accadere attrazione. Dacchè (fig. **141**.) il più carico (M) influisce su quello (N), che à minor dose di elettricità; caccia in distanza (in *b*) l'elettrico omonimo, e attrae vicino a sè (in *a*) l'eteronimo, e dopo succede l'attrazione.

3° Dunque gli elettroscopii possono agire anche senza toccarli col corpo elettrizzato. Già abbiamo (**49.** V.5°) esposto la costruzione degli elettroscopii a foglie d'oro. Ora aggiungiamo, che basta appressare ad uno di questi un corpo (A) elettrizzato (fig. **142**.) per averne la misura di tale elettrizzamento. Perchè con ciò il bottone (C) si elettrizza eteronimamente, e le liste omonimamente. Di che, trovandosi queste (M, N) in presenza e colla stessa elettricità, per fuggire una dall'altra, formeranno un angolo tanto meno acuto, quanto è maggiore la loro carica. Anzi, a dare maggiore sensibilità allo strumento, si aggiungono due aste metalliche verticali (D, B) alla parete della boccetta; le quali, restando elettrizzate per l'influenza delle paglinzze, esercitano verso di queste un' attraimento, che accresce l'effetto della loro mutua ripulsione.

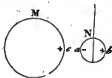



Fig. 141.

53. Condensazione elettrica. — È tempo ora di esporre alcuni fatti, che accompagnano l'induzione.

I. SCOLII. 1° Se l'influito, mentre è sotto l'influsso, si faccia comunicare col suolo, non disperde che la elettricità omonima all'influitrice.

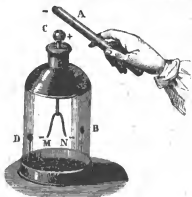
2° Delle due elettricità d'influsso, l'eteronima all'influitrice influisce alla sua volta su quest'ultima, ossia l'influen-

za è reciproca. E però non si può scaricare il solo corpo inducente, o il solo indotto; ma a questo intento è necessario metterli in comunicazione o tra di loro, affinchè le due elettricità eteronime si riuniscano e neutralizzino, oppure col terreno ambidue, affinchè le due elettricità si disperdano.

3° La elettricità influitrice, e l'influita eteronima non esercitano sempre e verso ogni corpo le solite attrazioni e ripulsioni; sono cioè spesso (51. II.17°) dissimulate e latenti 1.

4° Il conduttore influito, quando (col tenerlo un istante in comunicazione col terreno) sia rimasto carico della sola eteronima all'influitrice, si allontani dall'influente; la carica indotta si diffonde su tutto il deferente, riapparisce, e può essere dispersa nel terreno. Non accade altrettanto col mettere, per mezzo di un filo conduttore, in comunicazione l'influente coll'influito; perchè le due elettricità invece di disperdersi nel terreno seguono il conduttore; e si riuniscono insieme.

Fig. 142.

II. DEFINIZIONI. 1ª Chiameremo *imprigionata* l'e-

1 Ma non è vero ciò, che aggiunse Melloni nella sua teoria sopra accennata, che cioè la elettricità dissimulata sia priva di ogni tensione apparente e sensibile. Perchè due elettricità, che esercitano un vicendevole influsso, si attraggono scambievolmente, come sanno tutti i Fisici; e due corpi esposti all'inflenza di un solo, e comunicanti col terreno, e però dotati della sola elettricità eteronima all'inducente, ossia della sola latente, si respingono a vicenda.

Chi desiderasse su tal soggetto più ampii schiarimenti potrà leggere l'opuscoletto citato nella Nota antecedente, ed inserito nel Num. 21 Anno III della *Corrispondenza scientifica di Roma*; e nel Num. 2 Anno V della medesima, la dotta lettera del celebre Belli. Il quale, invitato dal p. Pianciani a dare il suo giudizio su questa controversia, principia dall'approvare la confutazione delle sperienze del Melloni fatta dall'Autore di questi Elementi; e poi passa a confermare con nuovi fatti l'antica dottrina dell'induzione.

lettricità che da sè sola [1] non si disperde, nè si diffonde sul suolo, ad onta che trovisi in comunicazione con questo.

2ª L'elettricità, che ricusa di diffondersi, e comunicarsi al terreno, e sta ferma, suol dirsi *legata* e da molti *dissimulata*.

3ª È detta *libera* l'elettricità, che anche sola (cioè senza che faccia altrettanto la sua eteronima) può disperdersi nell'aria, o diffondersi sui conduttori e nel terreno.

III. COROLLARII. 1° Dunque l'elettricità imprigionata non manca di tensione. Perchè se è vero, che essa sia priva della tensione indifferente (51. II.9ª), è per altro dotata della tensione polare: altrimenti non avverrebbe, che due cariche mutuamente influite si corressero velocemente incontro per riunirsi, appena è tolto l'ostacolo che le tiene separate.

2° L'elettricità latente o dissimulata è parimente dotata di tensione polare. Dacchè la elettricità carcerata, sebbene abbia tensione, ciò non ostante è sempre latente.

3° Dunque due elettricità latenti si attraggono vicendevolmente. Infatti un corpo elettrizzato tira a sè dei pezzettini di foglia d'oro comunicanti col terreno, e però dotati per influsso della sola carica imprigionata e latente. La dissimulazione quindi nasce dalla mancanza non di ogni attrazione, ma di quella verso qualsivoglia corpo.

4° Dunque l'influsso rende possibile l'accumulazione dell'elettricità. Dacchè, sebbene l'elettricità dissimulata non manchi di tensione, pur tuttavolta, siccome questa si esercita in tal caso esclusivamente in una determinata direzione; così è tolto un impedimento all'accumulazione dell'elettrico. Infatti un corpo di poco estesa superficie messo in comunicazione con un altro anche fortemente elettrizzato, quando avrà tolto a questo una quantità di elettrico in proporzione alla estensione sua, cesserà di riceverne di più: perchè le due tensioni sono uguali. Che se il corpo poco esteso si ritrovi vicino (ma separato per un coibente) ad un deferente comunicante col terreno, a mano a mano che riceve elettricità da una

1 Si è detto *da sè sola*: perchè le due elettricità che corrono per due conduttori e per riunirsi insieme, o per ispandersi contemporaneamente nel suolo, sono carcerate sui conduttori medesimi.

Digitized by Google

sorgente qualunque, eserciterà influenza sul detto deferente; questo disperderà l'omonima all'induttrice, e serberà legata la eteronima; la quale influendo alle sua volta sull'induttrice la legherà e nasconderà, ossia ne renderà parziale la tensione. E così tale tensione esercitandosi tutta verso la elettricità influita, non farà più ostacolo ad un nuovo ingresso di altro fluido. Finchè, quando la capacità o la elettrizzabilità del deferente sarà giunta al suo massimo, la tensione dell'elettrico sopravveniente sul piccolo corpo, cesserà di divenir parziale; si equilibrerà colla tensione della sorgente, e terminerà ogni ulteriore passaggio. Ma intanto il corpo poco esteso pos-

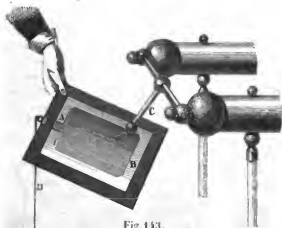



Fig. 143.

siede elettricità in gran copia. È vero che gli effetti non sono proporzionali fin qui alla carica; ma questi si ottengono col solo rimuovere il deferente comunicante; poichè con ciò la elettricità legata diviene libera e patente, cioè operante in tutti i sensi.

IV. ALTRI SCOLII. I principii or ora esposti dànno spiegazione degli apparecchii condensatori, e di varii fenomeni.

1° Il così detto *quadro magico* o *fulminante* di Franklin è costituito da una lastra di vetro, sulle due facce della quale (fig. 143.) sono incollati due stagnuoli, chiamati *armature*, meno ampii della lastra medesima. Per fare agire questo strumen-

Digitized by Google

to si mette in comunicazione col suolo l'armatura inferiore, e la superiore (AB) si fa comunicare col conduttore della macchina. L'elettrico che si comunica all'armatura superiore influisce sull'inferiore, questa cede al terreno la elettricità omonima, e coll'eteronima influisce sull'influitrice, richiamandola sulla faccia della lastra; allora altra elettricità si comunica alla pagina esterna dello stagnuolo, nasce un altro influsso, e via come sopra. Togliendo poi la comunicazione col terreno, e facendo con un arco (fig. **144.**) metallico (che in tal caso chiamasi *eccitatore*) comunicare insieme le due armature, si ottiene una scarica violenta dei due fluidi, che vanno incontro uno all'altro e si neutralizzano. Le due cariche del *quadro magico* sono legate, e dissimulate, perchè non dànno nè attrazione nè ripulsione, e non si possono togliere che contemporaneamente; ma scaricandole insieme producono una corrente istantanea, che fa deviare l'ago calamitato.

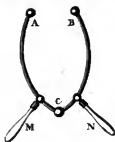



Fig. 144.

2° La così detta *bottiglia di Leida* (fig.**145.**) è lo stesso

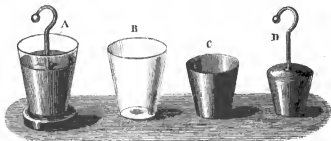



Fig. 145.

strumento colla sola differenza, che in luogo della lastra si adopera una bottiglia di vetro; e l'armatura interna emerge dalla bottiglia per mezzo di un filo metallico, che ne trapassa il collo e termina superiormente in una sfera metallica (A), ed inferiormente in una catenella pur metallica comunicante col-

Digitized by Google

la detta armatura. Talora la bottiglia prende un altro aspetto. Consiste cioè (fig. 146.) in tre bicchieri che possono entrare esattamente uno dentro l'altro, due di metallo (C, D) e sono l'interno e l'esterno, ed uno di vetro (B), ed è il mediano. Allora si chiama ad *armature mobili*; e serve a dimostrare che nell' influsso le due elettricità che influiscono a vicenda, corrono una verso l'altra alla massima vicinanza, e rivestono perfino il coibente che separa le armature. Infatti smontando questa bottiglia (A) senza scaricarla, si trovano le due elettricità nelle due facce del bicchiere (B) di vetro.

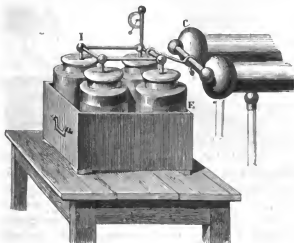



Fig. 146.

Fig. 147.

3° Ad ottenere una scarica più violenta si associano varie bottiglie in guisa, che comunichino fra loro tutte le armature esterne, e fra loro parimenti tutte le interne. (fig. 147).

4° Se il bottone dell' elettroscopio (fig.148.) invece di essere una palla sia un disco (C) metallico, spalmato di resina, cui dicono *collettore*, e se ne abbia un altro simile (S), chiamato *scudo*, e munito di manico (M) isolante; si potranno avere segnali sensibili anche per una lieve dose di elettricità. Poichè, posando lo scudo (S) sul collettore (C), e toccando quello (S) con un dito, e questo (C) col corpo (NP) elettrizzato, l' elettrico che si comunica al collettore (C) influi-

Fig. 148. Fig. 149.

sce sullo scudo (S); ma in questo (che è comunicante) rimane la sola carica eteronima all' influitrice. La quale carica intanto influisce su quella del collettore, ne lega e circoscrive la tensione, e ne accresce la capacità, ossia lo rende atto a ricevere altra elettricità dall' elettrizzato (NP): e così quasi tutta la carica di questo passa sul collettore. Allora prima si allontana il dito, poi (fig.149.) si solleva lo scudo; con che l' elettricità legata dal collettore divien libera, rifluisce alle pagliuzze (*m*,*n*), e le fa divergere sensibilmente.

5° Viene chiamato *elettroforo* (da ἤλεκτρον, e φέρω *porto*) un attrezzo (fig. 150.), dal quale si possono trarre successivamente delle scintille elettriche, senza nuovo elettrizzamento. In un piatto (P) metallico comunicante col terreno si versa uno strato di resina liquefatta; e, quando questa quasi stiacciata si è raffreddata e consolidata, si stropiccia con una coda di lepre; e poi vi si posa sopra un più ristretto disco (S) deferente munito di manico isolante (M), chiamato *scudo*. Allora basta toccare lo scudo per trarne una scintilla. Se poi, sollevato lo scudo medesimo, stabiliscasi una comunicazione fra questo ed il piatto; ogni volta si ritrovano in pronto le due elettricità per ricomporsi nell' arco eccitatore. Suol darsene la seguente spiegazione. Lo stropicciamento eccita elettricità —ᵃ nella faccia superiore della resina, e questa chiama la +ᵃ nella inferiore. L'elettrico poi della resina produce per influsso le due elettricità tanto nello scudo che nel piatto; ma la +ᵃ del piatto (che comunica col suolo) fluisce in questo e si perde. Per lo che ogni volta che prima si estragga l' elettrico —° dallo scudo (fig. 151.), e poi questo venga sollevato dalla resina, potrà sempre aversi la ricomposizione del +° dello scudo col —° del piatto.

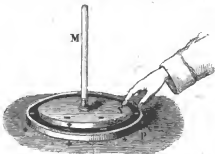
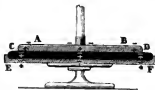



Fig. 150.

Fig. 151.

6° La teoria dell' induzione è stata invocata per ispiegare eziandio la virtù assorbente delle punte. Mentre quando esse ritrovansi davanti ad un corpo elettrizzato, ne soffrono l' influsso, e si caricano abbondantemente (mercè la loro figura) dell' elettrico èteronimo. Ma questo essendo dotato di ten-

sione polare verso l'influente, si scarica sull'influente medesimo e lo neutralizza. Rimane quindi sul corpo, terminato in punte, il solo elettrico omonimo all'induttore. Stando così le cose, la virtù assorbente sarà una pura apparenza, e le punte non godranno che della virtù disperdente. Dal che si trae parimente una più compiuta spiegazione delle macchine elettriche. Le punte, di cui sono muniti i conduttori, servono solo per restituire al disco l'elettrico negativo, che è eccitato in esse dall' influsso del disco medesimo. Del resto, affinchè il conduttore si carichi fortemente di elettricità +°, è necessario porre i cuscinetti in comunicazione col terreno: col quale artificio si ottiene che in questo si diffonda l' elettrico —°, cui essi ricevono nell' attrito col disco. Quando poi si vuole accumulare l'elettricità negativa dei cuscinetti, si dee far diffondere nel suolo la +° del conduttore; come appunto si pratica nella macchina di Van-Marun. Consiste questa (fig. 152. 153.) in un disco (P) di vetro, abbracciato all' orlo da due coppie di cuscini (*c*), ciascuna delle quali (coppie) è raccomandata ad una palla di ottone, e per mezzo di questa è sostenuta da una colonnetta di vetro. Davanti al disco, e sulla colonnetta che porta l' albero del medesimo, trovasi un arco (*a*) metallico, capace di esser collocato a piacere orizzontalmente fig.152.) o verticalmente (fig.153.) e terminato in due piastre munite di punte. Finalmente dietro al disco vi è una grossa palla di ottone (A) isolata, alla quale è annesso un altro arco (*d*) simile al primo, da porsi parimente ora verticalmente (fig.152.), ed ora orizzontalmente (fig.153.) Quando (fig.152.) l'arco anteriore (*a*) giace orizzontale e il posteriore (*d*) è verticale, il primo si fa comunicare col terreno per mezzo di una cate-

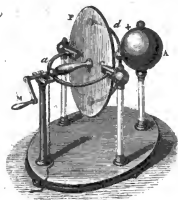



Fig. 152.

Digitized by Google

nella metallica; e così l'elettrico —° dei cuscinetti rifluisce nel terreno, ed il conduttore (A) si carica del +° per l'influsso del disco. Quando invece (fig. 153.) si colloca verticalmente l'arco anterione (*a*) ed orizzontalmente il posterione (*d*), a questo si annette la catenella, e così l'elettrico +° sgorga nel suolo, ed il conduttore (A) si carica del —° dei cuscinetti.

7° È manifesto che non può escludersi la teoria dell' influsso dalla spiegazione del fulmine e del parafulmine. Dacchè è inevitabile che, presentandosi uno strato di nubi elettrizzate ad un edificio, o ad un altro strato di nubi, questo e quello restino elettrizzati per influenza; ne dovrà nascere una condensazione scambievole, e quindi è più violenta ed intensa la scarica chiamata fulmine. Le punte poi dei parafulmini, innalzati sull'edificio, soffrono dentro una certa estensione l'influenza; si caricano di elettricità eteronima all'inducente, e la disperdono verso l'inducente medesimo. Quindi il parafulmine è utile in due maniere, e in quanto impedisce la scarica dell' elettrico, e in quanto anche non impedendola salva dai suoi tristi effetti l'edificio, col ricevere esso medesimo la scarica (il che dovrà avvenire ogni volta che le intensità elettriche sono assai grandi) e col condurla direttamente nel suolo, dove possa spandersi e dividersi in guisa da perdere la sua efficacia.

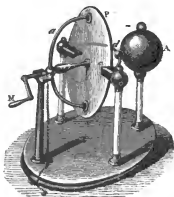



Fig. 153.

8° All' influenza elettrostatica ricorreva Alessandro Volta per spiegare la formazione della grandine, la quale talora cade in pezzi così grossi, da doversi supporre che essa siasi trattenuta lungo tempo nell' atmosfera allo stato di solidità, e così abbia potuto successivamente cingersi di molti strati di gelo. Imaginava esso le nubi divise in tanti strati; e stabiliva che l' elettrizzamento di uno strato superiore dovea pro-

durre per influsso una carica opposta nella faccia prossima dell'inferiore. Per lo che, ove le gocce d'acqua cadenti dallo strato sovrapposto venissero a solidarsi, dovesse nascerne un ballo elettrico (**49.** V. 3°). Ma a questa ipotesi i Fisici non arrisero, e perciò la grandine rimane tuttora inesplicata.

54. Potere induttivo, e scarica elettrica. — I. scolii. 1° Anche i coibenti possono soffrire l' influsso; ma in questi il fenomeno prende un altro aspetto. Dacchè in essi l'elettrico influito non si manifesta solamente alla superficie, ma anche nel loro interno. Anzi forse ciascuna loro molecula da una parte si elettrizza positivamente, dall'altra negativamente; in un modo analogo a quello, in cui supponesi la calamitazione del ferro. Il che è reso probabile vuoi dalla loro coibenza, per la quale l'elettrico assai difficilmente si muove in essi, vuoi da qualche fatto abbastanza significante. Sovrapponete una all'altra varie lamine di mica, e ponetene in comunicazione la prima con un corpo elettrizzato positivamente, e l'ultima col terreno; in ciascuna di esse si svolge elettrico +° sulla faccia rivolta al conduttore, e —° nell'altro; come si vede dopo averle separate per mezzo di un coibente. Sopra questo concetto Faraday à costruito tutto un sistema, per dar ragione (escludendo l'azione in distanza) dei fenomeni d'induzione. Ma la sua teoria sembra esclusa e da certe sperienze di Matteucci, e dal fatto che l'influenza à luogo eziandio a traverso il vuoto, e dal considerare che anche in quell' ipotesi vi è azione in distanza.

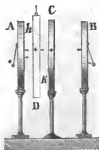



Fig. 154.

2° Ma i coibenti interposti fra i conduttori possono variare l' intensità dell' influsso. Faraday lo mostra nel seguente modo. Sieno (fig.154.) tre dischi metallici isolati (A,C,B) verticali, e paralleli; e ad ognuno dei due estremi trovisi appeso esteriormente un pendolo elettrico (M,N). Elettrizzando il disco mediano (C), si elettrizzano per influenza anche i due laterali, come mostrano i pendolini. Allora si tolga dai dischi influiti l'elettricità libera, che supporremo essere la +°; es-

si rimarranno elettrizzati negativamente nella sola faccia interna. Ma se fra i primi due (A, C) s'intrometta una lastra isolante (D), ecco che i pendoli si rialzano, e quello del primo disco (A) mostra l'elettrico +°, ed il —° l'altro. Tolta la lastra, i pendolini ricadono. Per ispiegare il fenomeno convien supporre che la lastra deferente siasi elettrizzata, divenendo +° dalla parte (*h*) del primo disco, e —° dalla parte (*k*) del mediano. Così il suo fluido +° (*h*) produce una seconda influenza sul primo disco (A), e lo ricarica; il —° (*k*) chiama a sè il +° del disco mediano (C), donde risulta una diminuzione d'azione di questo sul terzo (B), e la riapparizione in questesso di un poco di —°. Matteucci introduceva una lamina isolante fra le due sfere della bilancia di torsione, mentre esse erano elettrizzate eteronimamente e tenute a distanza dalla forza di torsione; e le vedeva subito riavvicinarsi, e quindi ritornare al loro posto col solo togliere la lamina. Tutto ciò mostra, che la sostituzione di un altro coibente all'aria può aumentare l'influsso; e che insomma vi è una differenza fra coibente e coibente, per proteggere questo fenomeno. Anzi gli effetti sopra descritti riescono più intensi e visibili collo zolfo, chè colla gomma lacca: come si vede frapponendo nell'esperienza di Faraday una lastra di zolfo fra i due primi dischi (A e C), ed una di gommalacca fra il mediano (C) e l'ultimo (B). Quest'ultima lama di poco diminuisce l'effetto dello zolfo. Per apprezzare le quali cose è utile sopprimere i pendolini, e far comunicare ciascuno dei due dischi estremi con una delle due liste d'oro (A,B), isolate fra loro, di un particolare elettrometro (fig.155.).

Fig. 155.

3° Ma per confrontare la diversa attitudine dei dielettrici a permettere l'influsso, Faraday adoperà una particolare bottiglia di Leida (fig.156.). L'armatura esterna della quale è formata da due emisferi (B,E) simili a quelli di Magdeburgo; e l'armatura interna è costituita da un globo (C) sostenuto da un'asta deferente terminata in una palla (A) ed iso-

lata dagli emisferi per un grosso tubo di gommalacca, cui essa traversa. Fra gli emisferi, e il globo rimane uno spazio (*mn*), che si riempie di diverse sostanze solide, ed anche aeriformi. Si prendono due di questi apparecchi, uno pieno d'aria e l'altro di gommalacca; si carica l'armatura interna del primo, e con un piano di prova se ne misura la carica alla bilancia di torsione. Quindi si mettono per un momento in comunicazione i due strumenti, e poi si misura di nuovo la carica del primo. La quale, così facendo, si trova minore della metà della primiera. Il che prova che la elettricità legata nell'apparecchio a gommalacca è maggiore. Da queste e simili sperienze, istituite anche da Harris, Masson, e Belli, può dedursi che la sostanza, a traverso la quale riesce meglio l'induzione, è lo zolfo, e poi vengono per ordine la gommalacca, la cera d'ape, la resina, il vetro; e che gli aeriformi o condensati o rarefatti si diportano tutti ugualmente.

Fig. 156.

II. DEFINIZIONI. 1ª Si chiama *polarizzazione elettrica moleculare* quell'elettrizzamento, pel quale ciascuna molecula di un corpo diviene +ª da una parte, —ª dall'altra.

2ª L'attitudine diversa, che anno i coibenti a permettere l'influsso a traverso di loro, à nome *potere induttivo* o *capacità induttiva*, e *dielettricità*.

3ª Gli strumenti atti a confrontare i diversi poteri induttivi sono detti *induzionometri differenziali*.

4ª La parola *scarica*, presa a rigore, indica la ricomposizione di due elettricità legate a traverso di un coibente. Ma questa si chiama anche *esplosione*.

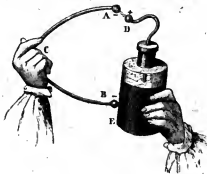
5ª La commozione, che si soffre nell'atto che la scarica trapassa di una in altra parte del corpo, vien chiamata *scossa*.

6ª Dicesi *contraccolpo* la scossa, che venga sofferta da chi non riceve direttamente la scarica.

III. ALTRI SCOLII. 1° Quante volte si posa (fig.157.) un estre-

mo (B) dell' eccitatore sull' armatura esterna (E) della bottiglia leidense, e si presenta l'altro estremo (A) al bottone (D) comunicante coll'interna, la bottiglia si scarica. Il che si spiega nel seguente modo. Sul bottone vi è un poco di carica libera; perchè col caricarlo direttamente riceve elettrico fino a quel grado, in cui la sua tensione indifferente pareggia quella dell' elettrizzato. Questa carica del bottone esercita influenza sull'eccitatore, e lo carica di eteronimo: l'elettrico influito reagisce sull'influente, e ne chiama dell'altro vicino a sè, e così di seguito; finchè l'arco eccitatore viene a rappresentare, da sè solo, quasi tutta l'armatura esterna ; la quale perciò si troverà separata dall'interna per la sola aria; ed avrà luogo la scarica. Diciamo *quasi tutta*; e infatti si possono trarre successivamente delle altre scariche sempre più deboli.

Fig. 157.

2° Un'antica esperienza fa vedere, come le due elettricità della scarica si propaghino diversamente sulle materie resinose. Il bottone comunicante coll'armatura +° interna della boccia leidense si striscia a piacere sopra un piano di resina; poi si carica di —°, e si segnano sulla resina altre linee. Dopo ciò sul piano stesso si spande un miscuglio di polvere di zolfo e di minio, per mezzo di un soffietto, in cui quel miscuglio era stato introdotto. Per l'attrito lo zolfo s'elettrizza in meno e si dispone sulle linee +°; il minio s'elettrizza in più, e si getta sulle linee —°; e così si ottengono delle striscie gialle e delle rosse. Ma quello che è più notevole si è che, in queste così chiamate *figure di Leichtenberg*, le striscie gialle offrono delle ramificazioni molteplici e divergenti , e le rosse àuno contorni regolari ed uniti.

3° La distanza esplosiva (AD) in un mezzo aeriforme per la stessa carica sembra che varii colla natura dell' elettrico, e

che nel mezzo medesimo sia inversamente proporzionale alla densità di questo. Infatti, col far passare la scarica per diversi gassi, asciutti, ugualmente caldi, e sottoposti alla pressione medesima, si è trovata massima la distanza esplosiva nell'idrogene, e minore negli altri nel seguente ordine: ossigene, nitrogene, aria, acido carbonico. Ma la detta distanza si raddoppia col ridurre a metà la densità dell'aria: e purchè la densità rimanga la stessa, la varia temperatura non porta veruna alterazione. Per altro in certi aeriformi l'elettrico si scarica ad una distanza, a cui colla stessa tensione non si scaricherebbe il $+^{\circ}$; in altri mezzi accade l'opposto.

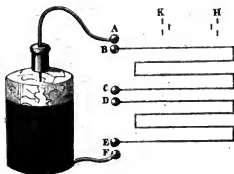



Fig. 158.

4° L'elettricità parte tutto ad un tempo da ambidue le armature, procede con pari velocità, e si ricongiunge nel mezzo dell'arco, come à dimostrato Wheatstone. Questi à preso due lunghissimi fili di rame (fig. 158.), terminati in quattro sferette, e ne à disposti i capi vicino ad una fiala leidense in modo da ottenerne nella scarica tre scintille in una retta verticale, una dall'armatura interna (A) al capo (B) del primo filo, l'altra fra l'armatura esterna (E) ed il capo (F) dell'altro filo, la terza fra gli altri due estremi (C, D) dei due fili medesimi. Incontro a questi capi à fatto girare velocissimamente uno specchio intorno ad un asse verticale: ed à veduto che, quando lo specchio girava destrorso, precedevano (H) una sotto l'altra le imagini delle due scintille estreme e seguiva quella del mezzo; viceversa (K), quando lo specchio girava sinistrorso. Anzi, paragonando la velocità dello specchio col ritardo della scintilla media, potè concludere che l'elettrico si scarica

colla velocità di 460 mila e 800 kilometri a secondo; velocità che è circa una volta e mezzo maggiore di quella della luce.

5° La scarica produce molti effetti rimarchevoli. E primieramente riscalda, fonde, e volatilizza i conduttori per i quali trapassa. Già abbiamo veduto, che la scintilla stessa riscalda abbastanza un miscuglio di idrogene e di aria, per promuovere la formazione dell' acqua. Ma è bello veder l'etere infiammarsi non solo per la scarica di una bottiglia (fig. 159.), ma anche colla scintilla, che esce da un dito di un individuo, comunicante colla macchina ed isolato dal suolo per mezzo del così detto *banchetto isolatore*, che è uno sgabello a piedi vitrei. Più bello ancora è vedere l'incendio, prodotto nell' etere stesso, con una scintilla provocata da un pezzo di ghiaccio; come à fatto un certo Watson.

Fig. 159.

6° La scarica di un elettroforo può servire a studiare la composizione dei gassi. Un cilindro di vetro (fig. 160.) terminato da due chiavette metalliche (C,R) posa sopra un piede a imbuto e porta sopra di sè una vaschetta (V). La chiave superiore (C) comunica col suolo, ed il collarino metallico, a cui è annessa, è trapassato da un uncino isolato (K), simile a quello della pistola di Volta. Questo strumento, ideato dallo stesso Volta, à nome *eudiometro*. Poniamo che si voglia conoscere in quali proporzioni si combinano l'ossigene e l'idrogene per formar l'acqua. S'empie d'acqua l'eudiometro, e, facendolo pescare parimente nell'acqua, vi s'intro-

Fig. 160.

ducono due volumi uguali uno d' ossigene, e l'altro d'idrogene. Dopo vi si fa scoccare la scintilla di un elettroforo; e i due gassi si combinano con viva luce. Ma vi è un residuo: il quale, fatto passare in un tubo (T) graduato ed empito d' acqua, si riconosce essere ossigene puro, in volume uguale ad un quarto di quello del miscuglio primitivo. Dunque l' acqua è formata di un volume d' idrogene, e mezzo di ossigene.

Fig. 161.

7° Sullo stesso principio è posato *l' accendilume a idrogene di Volta* (fig. 162.). Il turacciolo di una bottiglia, contenente acqua acidulata con acido solforico, è trapassato dal lungo collo di un fiasco (V) sottovolto. Il collarino metallico della bottiglia porta un tubetto fisso (RQ) munito di chiavetta (R), ed un'asta, da cui pende un pezzetto di zinco (Z), al pelo dell'acqua; e davanti all'estremità del tubetto trovansi due pallette metalliche, una delle quali è comunicante (per I) col suolo, e l'altra è sostenuta da un'asta (I') metallica isolata, la quale entra in una cassetta sottoposta (che serve da zoccolo all'apparecchio), e termina in un' altra sferetta (O). Nella cassetta medesima àvvi un piccolo elettroforo collo scudo (P) mobile a cerniera, il quale, quando è posato, trovasi in comunicazione col terreno per uno stagnuolo (N); quando poi si solleva, tocca la sferetta sopraddetta (O). Le cose sono combinate in guisa, che, per mezzo di uno stesso manubrietto (R), lo zinco (Z) si tuffa nell'acqua, lo scudo

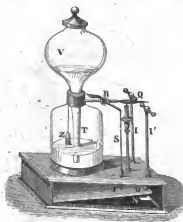



Fig. 162.

(P) dell' elettroforo si solleva e comunica la scintilla al conduttore, e si apre un esito al gasse idrogene pel beccuccio (Q).

8° Facendo passare la scarica a traverso di una foglia d'oro, d'argento, o di stagno; questa si fonde. o volatilizza. Anzi con delle grandi batterie si fonde una lunghezza di 15 o 20 metri di filo di ferro. Applicando un pezzo di raso sopra un filo d'oro posto fra le due sfere, dove cioè scocca la scintilla, l'oro è volatilizzato e si depone sul drappo sotto forma di una lista bruna. Singer ne à cavato profitto per imprimere i disegni sulla seta. Si taglia un disegno *a giorno* (fig. 161.) sulla carta, e si applica sul raso bianco; sopra vi si stende una foglia d'oro, che si fa toccare con due lamine di stagno (A,B), ripiegandovi sopra due cartoni (C,D). Tutto ciò è stretto a viti (fig.163.) fra due tavolette (H,K) del così detto *torchio elettrico*; si fa passare la scarica per la foglia d'oro; e sul drappo si depositano quelle particelle, che per i tagli della carta vi si trovano a contatto.

Fig. 163.

9° Fra gli effetti meccanici della scarica può annoverarsi il suono (fig. 164.) di due campanelli (C,B); uno dei quali (B) comunica coll'armatura interna, e l'altro (C) colla esterna di una bottiglia leidense, e fra i quali si trovi sospeso un pendolo elettrico di metallo. Il qual suono proviene da ciò, che la carica libera dell' armatura interna (B) attira il pendolo, lo elettrizza, e lo respinge; il pendolo ricade per due forze, e però sale fino all' altro campanello (C), ed ivi si diselettrizza: quindi ritorna sul primo campanello, e così di séguito. Inoltre la scarica trapassa da parte a parte più fo-

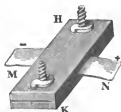
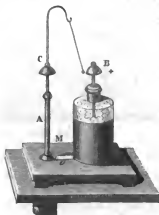



Fig. 164.

gli di carta, od anche una lastrina di vetro interposta a due punte metalliche, ciascuna delle quali comunichi con una diversa armatura. Sotto le stesse condizioni si frange un pezzo di legno. Ma oltre a ciò un filo metallico, rettilineo, non tanto teso, coll'esser percorso da più scariche, prende una forma leggermente ondulata, e si abbrevia. Deve annoverarsi fra gli effetti meccanici il girare di un rombo di ottone sorretto in bilico sopra una punta come un ago da bussola, ogni volta che gli si fa passare vicino una serie di scariche o una corrente della macchina, e si tiene ad un tempo esposto all'influenza. La scarica nei gassi produce scotimenti ed una impetuosa espansione, come si mostra coll'impropriamente chiamato *termometro di Kinnersley* (fig. 165.). Consiste in due vasi comunicanti di diverso diametro; il più fino è aperto, ed il più largo contiene le due aste terminate in isfere, come nell'eudiometro. Vi si versa dell'acqua fin quasi alla sfera inferiore; e vi si fa scoccare la scintilla. Si vede allora l'acqua salire di circa due centimetri nel tubo sottile, ed immediatamente ritornare al posto suo; il che prova che il fenomeno non proviene da innalzamento di temperatura. Finalmente Fusinieri à dimostrato che dai due corpi, fra i quali scocca la scarica, si staccano delle particelle ponderabili, le quali dall'uno di essi vanno a deporsi sull'altro.

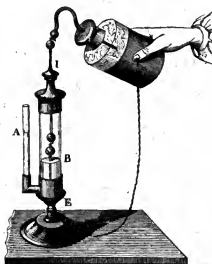



Fig. 165.

10° Quanto agli effetti chimici, è da sapere che col far passare una serie di scariche a traverso di certi gassi, come sarebbero l'acido solfidrico, il protossido di nitrogene, il

il fosfuro d'idrogeno, essi ne restano decomposti. Anzi sono analizzate anche le sostanze isolanti. Inoltre facendo scoccare varie scintille positive sull'estremità di una lista di carta umida imbevuta di solfato di soda, e colorata collo sciroppo di viole; la lista diviene rossastra nella detta estremità, e violetta nell' altra, che è in comunicazione col suolo. Dunque gli elementi (acido ed alcalino) del sale sono stati trasportati alle estremità della carta. Armstrong colla sua macchina idroelettrica à potuto decomporre l'acqua. Prendeva esso (fig.166.) due campanelle di vetro, il cielo delle quali era trapassato da un filo di platino, ed uno di questi fili metteva in comunicazione colla caldaia della macchina, e l' altro col terreno: ed otteneva che l'ossigeno si raccogliesse sul filo +°, e l'idrogeno sul —°. Infine quando si faccia passare una serie di scintille a traverso dell'ossigeno puro, questo gasse manda un odore particolare, ed assume delle proprietà chimiche tutte nuove. L'ossigeno in tal maniera modificato da Schoehein è stato chiamato *ozono*.

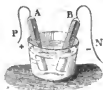



Fig. 166.

11° Gli effetti magnetici della scarica consistono nel far deviare l'ago calamitato alla sinistra della corrente istantanea [1]; e nel calamitare un ago d'acciaio, od invertire i poli di uno già calamitato, sia quando è traversato dalla corrente, sia quando è posto vicino assai ad essa.

12° Gli effetti più sorprendenti della scarica sono i fisiologici. Se a qualcuno piaccia di mettere in comunicazione un'ar-

1 Chi amasse conoscere più esatte particolarità su tali fenomeni potra leggere l' opuscoletto intitolato: *Sulla deviazione dell'ago calamitato per la elettricità di attrito, Esperienze del professor Francesco Regnani. Roma, Tipografia delle Belle Arti* 1857. Ivi ancora potrà vedersi statata l'opinione, cui quest' anno medesimo riproduce il Dagnin, che cioè la rotazione di un ago calamitato posto in bilico vicino alla corrente della bottiglia leidense (scoperta, che dal medesimo viene attribuita a Kinnersley) debbasi considerare come un effetto magnetico. Basti riflettere che l'Autore di questi Elementi fin dal 1857 fa vedere a tutti nelle pubbliche Lezioni sperimentali la rotazione medesima in un ago non calamitato; anzi in un ago di una sostanza qualunque non magnetica.

matura coll'altra di una bottiglia carica, non però per un arco, ma per mezzo delle proprie mani; egli avrà a risentirne uno scotimento istantaneo. Il quale proviene evidentemente dalle due elettricità, che nel corrersi incontro per neutralizzarsi, passano per le braccia e pel petto, ed ogni volta che giungono ad una articolazione, trovando un ostacólo al passaggio, pare che prima di superarlo avvicinino fra loro i due pezzi, sui quali esse ritrovansi; e quindi tanti urti quasi istantanei, quante sono le articolazioni medesime. E questo è il fenomeno, cui più su abbiamo chiamato *scossa*. Accade lo stesso ove più individui facciano, come suol dirsi, *catena* fra loro, ossia tengansi per le mani uno appresso all'altro in circolo; ed il primo tocchi l'armatura esterna della bottiglia, e l'ultimo l'interna. La scossa per altro riesce più intensa agli estremi, che al mezzo della catena medesima. Anzi, a ricevere una scossa, basta eziandio stare in prossimità del conduttore della macchina elettrica mentre questa si vien caricando, e se ne estraggono delle scintille. Perchè al suo caricarsi ogni oggetto prossimo al conduttore si elettrizza per influenza, e, se comunichi col terreno, abbandona l'elettricità omonima e riserva legata la sola eteronima. Ond'è che ad ogni trar di scintilla (che è un sopprimere l'elettricità influitrice) dee rispondere un violento disélettrizzamento. Il quale, se avvenga in un animale, dee scuoterlo; come si vede tenendo vicino alla macchina una rana uccisa di fresco comunicante col terreno. E perciò non vi è bisogno di esser colpiti direttamente dalla scarica elettrica per restar fulminati. Il solo trovarsi esposto alla induzione delle nuvole, pregne di elettricità, occasiona allo scoccar del fulmine un contraccolpo così violento, che può produrre una specie di letargo, e fors'anche la morte.

13° Questi ultimi cenni fanno vedere che le leggi dell'induzione, oltre all'esser feconde delle più soddisfacenti spiegazioni intorno a fenomeni anche grandiosi, cospirano con tutte le altre ad ingerirci un'alta idea della potenza del Creatore. Infatti se fu grande la maraviglia che eccitò già l'Abate Nollet, quando con un non so che di invisibile, tratto da un vetro col solo attrito, e riposto in una piccola bottiglia,

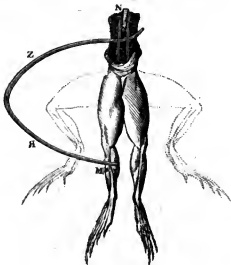
senza occuparla visibilmente, potè scuotere tutto ad un tratto e spaventare un battaglione disposto *a catena* di intrepidi militari; molto maggiore dev'essere la nostra ammirazione nel riflettere quanto grandi effetti non sa Iddio trarre da cagioni in apparenza le più piccole, e quante di queste forze a noi tuttora o incognite o misteriose sono a sua disposizione.

ARTICOLO IV.

ELETTROMOZIONE.

55. Legge fondamentale. — I. SCOLIO. Il contraccolpo elettrico, sofferto da una rana uccisa di fresco, fece avvertire a Galvani nel fine del secolo passato, che la detta rana soffre la scossa col solo toccarne i muscoli e i nervi lombari (fig. 167.) con un arco metallico. Da principio si concluse da questo fatto l'esistenza di un fluido animale, che si volle chiamare *fluido galvanico*. Più tardi Galvani stesso riconobbe l' identità di

Fig. 167.

tal fluido coll' elettrico, e rassomigliò il fatto della rana alla scarica di una bottiglia leidense. All'incontro Volta pensò che l'animale non fosse che un elettroscopio, ed invece l'elettrico si svolgesse dall' arco metallico. Aveano ragione entrambi: dacchè Matteucci à finito di provare ciò che risultava dalle sperienze di Galvani, l'esistenza cioè della elettricità nel corpo degli animali; e l' idea, che debba ottenersi svolgimento

di elettrico col solo porre a contatto due metalli eterogenei, è al presente posta fuori di controversia. Anzi la legge à acquistato maggiore estensione e precisione; tanto che può dimostrarsi la seguente

II. PROPOSIZIONE. *In due corpi eterogenei a contatto si svolge elettricità, positiva nell'uno e negativa nell'altro; e qualsivoglia alterazione elettrica si induca in essi, la differenza algebrica delle tensioni rimane costante.*

Dimostrazione della 1ª *parte*. Volta saldava insieme pei loro capi (fig. 168.) due sbarre, una di zinco ed una di rame; e tenendo in mano lo zinco toccava col rame il piatto di rame del suo elettrometro condensatore: e trovava il rame elettrizzato in meno. Quindi sostituiva un piatto di zinco a quello di rame dell' elettrometro; e lo toccava collo zinco tenendo in mano il rame: e vedeva l'elettrizzamento +° dello zinco. Ma a questa, che si chiama *l' esperienza fondamentale di Volta* e che è delicatissima, può sostituirsi assai opportunamente la deviazione dell'ago. Infatti se sopra e sotto un ago calamitato passi più volte il filo metallico, che mette in comunicazione due corpi eterogenei, per esempio un disco di rame posato sopra uno di zinco; si vede tal deviazione nell'ago, da non lasciar verun dubbio, che l'elettricità passi dal rame sullo zinco. Dunque il rame nel contatto dello zinco si fa —°, e questo +°.

Fig. 168.

Dimostrazione della 2ª *parte*. La verità della seconda parte del teorema risulta da varii fatti. 1. Se s' interponga una lastra

Digitized by Google

di rame fra due di zinco, e viceversa, le lastre laterali si mostrano neutre; e la mediana, esplorata all'elettrometro, manifesta tutta la tensione risultante dalla differenza fra quella del rame e quella dello zinco. Per esempio, se questa si chiami $+e$, e quella $-e$, la lastra di mezzo fa vedere $+2e$, e le laterali $=0$. II. Se si carichi artificialmente o il rame o lo zinco (che stanno a contatto) fino ad ottenere, che l'uno dei due possegga una certa determinata tensione sia $+^{a}$, sia $-^{a}$; l'altro viene con ciò solo ad acquistare tale tensione, che la differenza torni $=2e$. III. Se, mentre sono a contatto i due metalli, uno si metta in comunicazione col terreno; questo divien neutro, ossia à tensione $=0$, ma quello manifesta da sè tutta la tensione $=2e$.

III. COROLLARII. 1° Ove uno dei due metalli eterogenei, che si trovano a contatto, venga per un conduttore, (per esempio con un lucignolo di lana bagnata in acqua salata) tenuto costantemente in comunicazione col suolo; e con un altro conduttore (per esempio con un altro simile lucignolo) si faccia per un momento comunicare col terreno anche l'altro metallo; quest' ultimo in quel momento si fa neutro esso pure. Ma perseverando il contatto dei due metalli eterogenei, si svolge l'elettrico sull' uno e sull'altro; da quello, che sta in comunicazione col suolo, l'elettrico appena svoltosi fugge e si spande in terra, nell'altro si raddoppia la tensione.

2° Che se ambidue i metalli sieno continuamente in comunicazione col suolo, in ogni istante sgorga nel terreno la $+^{a}$ dello zinco da una parte, e la $-^{a}$ del rame dall' altra; e in ogni istante il rame ritorna $-^{o}$, e lo zinco $+^{o}$.

3° Supponendo che i due fili conduttori, o i due lucignoli sieno sollevati dal terreno ed intrecciati insieme; se la seconda parte del teorema è vera, dee nascerne una continua corrente, per la elettricità $+^{a}$ che dallo zinco va incessantemente al rame, e per la $-^{a}$ che senza intermissione dal rame si getta sullo zinco. Corrente analoga in tutto a quella, che ottiensi col far comunicare il conduttore $+^{o}$ del disco della macchina col $-^{o}$ dei cuscinetti.

4° Dunque facendo passare vicino ad un ago calamitato il filo conduttore, dovrà aversene, come si à di fatto, una de-

viazione, che sarà indizio manifesto della esistenza e della direzione di tal corrente.

5° Dunque anche la verità della seconda parte del teorema rimane dimostrata per la deviazione dell' ago. Dacchè questa è indissolubilmente congiunta con quella.

IV. DEFINIZIONI. 1ª Lo svolgimento dell' elettrico, che à luogo nel contatto dei corpi eterogenei, è stato chiamato *elettromozione*.

2ª La cagione, qualunque essa sia, che produce tale svolgimento, è detta *forza elettromotrice*.

3ª I corpi eterogenei, che posti a contatto meglio esercitano questa forza, vengono chiamati *buoni elettromotori* ed anche *elettromotori di prima classe*.

4ª Diconsi *cattivi elettromotori* quelli, che sono meno atti a produrre questo genere di fenomeni.

5ª Quelli poi, che stanno quasi in mezzo fra i migliori ed i peggiori elettromotori, diconsi *elettromotori di seconda classe*.

V. ALTRI SCOLII. 1° Volta ascriveva il fenomeno al contatto; ma al presente questo suole attribuirsi molto universalmente alle chimiche azioni che ànno luogo nel contatto dei corpi eterogenei. Comunque ciò avvenga, è un fatto che il contatto ne è una condizione indispensabile; e però può sempre dirsi che, se non *pel* contatto, certo *nel* contatto, o *col* contatto accade il fenomeno. È certo per altro che in ogni azione chimica vi à elettromozione, e che questa è più copiosa quando quella è più energica. Ond'è che la *teoria* così detta *chimica*, proposta da Fabroni di Pavia, à un gran fondamento di verità.

2° Come pure è certo, che la parte più interessante del fenomeno consiste in un continuo movimento, o flusso di elettricità. E però, senza adottare verun sistema, possono assai propriamente usurparsi tutti i vocaboli derivati da *elettromozione*.

3° Sono elettromotori di prima classe i metalli, ed il carbone ben calcinato; sono di seconda classe i liquidi. Ma fra i metalli stessi il rame e lo zinco si ritengono per i migliori.

4° La natura dell' elettrico che svolgesi per elettromozione su di un dato corpo varia colla natura delle sostanze in contatto. Lo zinco, il ferro, lo stagno, il piombo, il bismuto, e

Digitized by Google

l'antimonio divengono $+^1$ nel contatto col rame; nel caso stesso divengono $-^1$ l'oro, l'argento, ed il platino.

5° Quanto alle combinazioni chimiche, si dicono ritrovate da Becquerel le seguenti leggi. I. Nelle combinazioni l'ossigene e l'acido divengono $+^1$, ed i combustibili e le basi si fanno $-^1$. II. Nelle decomposizioni accade l'opposto. III. Nelle doppie decomposizioni, l'equilibrio delle forze elettriche non è disturbato.

6° È un fatto che la grandezza della tensione di un elettromotore non dipende dall'ampiezza della superficie, o del volume dell'elettromotore. D'altra parte la medesimezza di tensione in corpi di diversa ampiezza suppone diversa intensità, o accumulazione di elettrico. Deve dunque distinguersi accuratamente la *quantità* dell'elettrico, che si sviluppa per elettromozione, dalla *tensione*, che esso medesimo raggiunge.

56. Apparecchi elettromotori. — L'aumento della quantità dell'elettrico nell'elettromozione si ottiene colla maggiore estensione degli elettromotori; ma l'accrescimento di tensione, e di intensità della corrente come potrà ottenersi? La risposta a questo quesito verrà data dalle seguenti deduzioni, che possiamo trarre dal teorema fondamentale or ora dimostrato.

I. COROLLARII. 1° Non si ottiene aumento di intensità elettrica coll'associare immediatamente più coppie di elettromotori; come sperava da principio Volta medesimo. Dacchè due coppie a contatto elidono a vicenda le loro elettromozioni, coerentemente alla seconda parte del teorema fondamentale: per la quale due elettromotori omogenei fra loro, i quali ne fiancheggino un altro eterogeneo, rimangono neutri; e intanto il mediano assume tutta la differenza elettrica.

2° Vi è moltiplicazione di intensità o di tensione positiva nell'elettromozione, col condurre la carica positiva di ciascuna coppia all'elettromotore negativo della coppia successiva, per mezzo di un conduttore, il quale non eserciti elettromozione fra esse. Infatti sopra (fig.169.) un disco di rame (R_0) comunicante col suolo, per mezzo di un lucignolo (C) di lana inumidito, si collochi un disco di zinco (Z_1). Ambidue i dischi si elettrizzano; ma la carica del rame scorre nel

terreno, e lo zinco (Z_1) prende tutta la differenza delle due tensioni, cui diremo $+2$. Si posi ora sullo zinco una rotella (P_1) di panno inumidito con acqua salsa, e sopra di esso un secondo disco (R_1) di rame. Il conducimento darà 2 alla rotella ed al secondo rame, lo zinco primo (Z_1) riprenderà il $+2$ dall' elettromozione; perchè questa, prima darà $+1$ allo zinco, e -1 al rame; e quando il -1 del rame sarà rifluito nel terreno, aggiungerà un altro $+1$ allo zinco. Ove pertanto si aggiunga un secondo zinco (Z_2) sul secondo rame, il secondo zinco, considerato come semplice conduttore, acquisterà il $+2$ dal rame secondo, questo riprenderà $+2$ dal conducimento, e il resto come sopra. Ma col posare il secondo zinco sul secondo rame, oltre il conducimento, si eccita elettromozione; e poichè questa dee produrre la differenza $+2$, ed il secondo rame à inevitabilmente $+2$; dovrà il secondo zinco acquistare un altro $+2$, ed in ultimo avrà $+4$. Per la qual cosa proseguendo oltre a sovrapporre una terza rotella umida, un terzo rame, un terzo zinco, e poi una quarta rotella umida e così di sèguito, si otterrà quasi un pilastro, in cui la tensione elettrica crescerà proporzionalmente dal basso in alto, essendo $+200$ sul centesimo zinco.

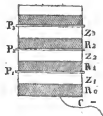



Fig. 169.

3° Parimenti vi è aumento di tensione negativa, trasportando per un conduttore l' elettrico $-°$ delle singole coppie all' elettromotore $+°$ delle successive. Dacchè posando similmente (fig. 170.) un disco di rame (R_1) sopra uno di zinco (Z_0), comunicante col suolo pel solito lucignolo inumidito; l'elettromozione produrrà $+1$ sullo zinco, e -1 sul rame: e intanto che il $+1$ dallo zinco sgorga nel terreno, il rame assume -2; e così $0-(-2)=+2$. Mettendo ora una rotella umida (P_1) sul rame, essa assume per conducimento il -2, tensione che ritorna subito sul rame per la elettromozione. Col posare sulla rotella un secondo zinco (Z_1), questo prende il -2, e il resto ritorna come era. Posando un secondo rame (R_2) sul secondo zinco, pel solo conducimento il rame secondo si appropria -2; ma per elettromozione deve sussistere fra lo

zinco e il rame la differenza $+2$: dunque il secondo rame diventa -4, e così $-2-(-4)=+2$. Quindi è che il terzo rame avrà -6, il quarto -8, e via dicendo. Ed ecco un altro pilastro con tensione negativa crescente da **0** fino ad un numero uguale al doppio numero delle coppie.

4° Coll' associazione di più coppie isolate dal terreno, ma comunicanti una coll' altra per un deferente come sopra, si ottiene una disposizione di elettricità analoga a quella del magnetismo in una calamita. Dappoichè se si raccolgano da terra i due lucignoli e i due pilastri si riuniscano per i loro estremi $=0$, frapposti questi lucignoli medesimi, avremo un terzo pilastro che in mezzo sarà neutro, e da un lato avrà tensione $+^{a}$ crescente, dall' altro $-^{a}$ crescente parimente dal mezzo all' estremo.

5° Associando più coppie di elettromotori coi detti deferenti umidi, si ottengono correnti, la intensità delle quali cresce col numero delle coppie. Giacchè quando tutte le coppie sono riunite ed isolate, se agli estremi del sistema si annettono due fili conduttori, e si lasciano cadere con un capo per terra; in ogni istante sgorgherà nel suolo l'elettricità $+^{a}$ da un lato, la $-^{a}$ dall'altro, e in ogni istante la elettromozione restituirà tutta la carica all' intero sistema; nasceranno cioè due correnti. Una delle quali, ossia quella dell'estremo di rame, se si consulta la deviazione dell' ago, dovrà considerarsi sagliente dal suolo all' apparecchio; l' altra, vale a dire quella dell' estremo di zinco, dovrà intendersi discendere da questo al terreno. E raccogliendo dal suolo i due capi dei fili conduttori, ed intrecciandoli insieme, si otterrà su quest' arco deferente una corrente continua di una intensità proporzionale al numero delle coppie. La quale, stando alla deviazione dell'ago, sull'arco va dallo zinco al rame, nell'interno dell' apparecchio va invece dal rame allo zinco.

Fig. 170.

II. DEFINIZIONI. 1ª L' elettricità corrente, ed anche il suo studio, appellasi *elettrodinamica*; per contrapposto ad *elettro-*

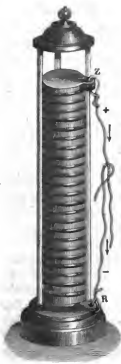
statica, che significa il trattato della elettricità ferma, od anche questa stessa.

2ª L'apparecchio (fig. 171.) composto di varie coppie di elettromotori di prima classe riunite con distinto deferente, dal nome di chi lo ideò, si domanda *pila di Volta*.

3ª Ogni coppia col suo deferente, o elettromotore di seconda classe, dicesi *elemento della pila*.

Fig. 171.

4ª Gli estremi, sui quali la tensione raggiunge il massimo grado, si chiamano *poli*.

5ª I fili conduttori, che dai poli discendono nel terreno, oppure si riuniscono insieme, dai verbi ῥόω, o ῥέω, *fluisco*, e φέρω o φορέω *porto*, sono chiamati indistintamente *roofori*, o *reofori*, ossia portatori della corrente.

III. scolii. 1ª Abbiamo sostenuto fin qui, che la tensione e la intensità della corrente debba aumentare col numero degli elementi della pila: perchè supponevamo un assoluto isolamento della pila, una uniforme eterogeneità degli elettromotori, un perfetto conducimento nel deferente che riunisce coppia a coppia, ed una totale assenza di elettromozione in questo deferente medesimo. Ma tutte queste supposizioni non si verificano nel fatto. Ond'è che in ogni elemento vi è una differenza fra la tensione pratica, e la teorica. Anzi questa differenza non è costante, ma crescente col numero degli elementi. Per la qual cosa, quando gli elementi giungeranno ad un certo numero, la quantità da sottrarsi pareggerà quella da aggiungersi per la nuova elettromozione, e la tensione rimarrà costante: sarà cioè inutile aggiungere altri elementi.

Digitized by Google

2° Se la eterogeneità degli elettromotori rimanesse costante, la pila dovrebbe funzionare perpetuamente. Ma dopo un tempo più o meno lungo, le superficie degli elettromotori, che si toccano, verranno ad alterarsi a vicenda, e ricuoprirsi di particelle eterogenee, anzi sopra ciascuno si deporranno le particelle dell' altro. E però la pila andrà mano mano perdendo di forza, e poi cesserà di agire. E per farla agire di nuovo converrà riforbire, e riportare al loro primiero stato gli elettromotori.

3° La pila verticale gravita fortemente sulle rotelle umide degli elementi inferiori, e ne spreme fuori un poco di umidità. Or questa stabilisce allora una comunicazione immediata fra due elettromotori omonimi di diversi elementi, il che disturba l' effetto. Quindi Volta stesso prima pensò di cangiar posizione alla sua colonna, e la posò orizzontalmente. Ma poi, essendosi accorto, che la estensione delle superficie in contatto non influisce sull' effetto, le diede tutt' altra forma. Al panno umido sostituì acqua acidula versata in tanti bicchieri (fig.172.), e in ciascuno di questi immerse verticalmente due lastre una di rame (R), una di zinco (Z); quindi con liste di rame (S) riunì lo zinco di ciascun bicchiere col rame del bicchiere seguente. Questo apparecchio fu chiamato *pila a corona di tazze*.

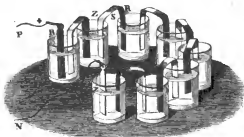



Fig. 172.

4° Che se gli archi di queste coppie (fig.174.) sieno attaccati ad un bastone orizzontale, per poterle immergere tutte ad un tempo; si ottiene la così detta *pila di Wollaston*.

5° Se queste tazze sieno tenute ripiene di sabbia silicea, la quale venga a quando a quando inumidita con acqua acidula, l' apparecchio prende il nome di *pila di Smee*.

6° Più tardi, per ottenere maggior costanza nella corrente,

si è creduto opportuno sostituire all'acqua acidula due liquidi diversi, separati da un vaso poroso, che ne impedisca la meschianza e ne permetta il contatto: e tali strumenti ànno avuto nome *pile a due liquidi*.

Fig. 173.

7° Per costruire una *pila di Daniell* (fig. 173.) nel vase (V) di vetro si pone una soluzione di solfato di rame, e vi si fa pescare un tubo di rame (R); dentro a questo si introduce un vaso poroso (D) o *diaframma*, come suol dirsi; e nel vaso poroso si mette acido solforico allungato, e un tubo di zinco (Z). Ogni zinco poi comunica col rame del seguente vase.

8° Che se alla soluzione di solfato si sostituisca acqua salsa o acida, e al tubo di rame

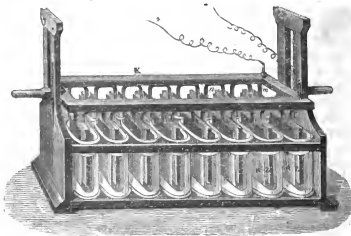



Fig. 174.

(fig. 177.) un tubo di zinco (Z), e dentro questo si collochi il diaframma (D), e versata nel diaframma dell'acqua forte,

vi si faccia pescare dentro un pezzo di carbone (C); si à un elemento *alla Bunsen*.

9° Se poi nella pila di Bunsen al carbone sostituiscasi una lastra di platino, o in foglia sottile, o (fig. 175.) ravvolta ad *esse* (P) e fissata ad un coperchio; la pila (fig. 176.) riceve il nome del suo inventore *Grove*.

Fig. 175. Fig. 176.

10° Tutti gli apparecchi esposti fin qui diconsi *pile idroelettriche*: ma vi sono anche le così dette *pile secche* o *di Zamboni*. Prendete tanti dischi di carta ramata, ed altrettanti di carta stagnata, e sovrapponeteli uno sull' altro in modo, che ciascuna faccia di rame combaci con una di stagno; otterrete una pila poco voluminosa, e assai pulita, che è chiamata come abbiamo detto. Nella quale non avvi altro liquido, che la umidità propria delle so-

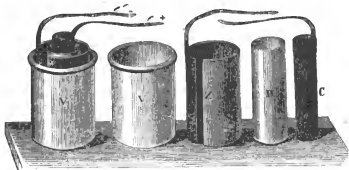



Fig. 177.

stanze igrometriche, quale è la carta. La troppa secchezza o umidità dell'aria snerva la forza di questa pila; e però, bisogna tenerla chiusa in un tubo di vetro ben verniciato, op-

pure vestita di un mastice molto isolante. Può anche adoperarsi la sola carta stagnata, purchè alla faccia scoperta della carta, per mezzo di colla di amido, si faccia aderire un finissimo strato di biossido di manganese.

11° In tutte queste batterie le estremità non sono costituite da un elemento intero (fig. 178.), ma da un solo elettromotore; e però il polo +° è rappresentato dal rame, dal platino, o dal carbone, ed il —° dallo zinco. Imperocchè se nella pila di Volta (fig. 171.) noi togliessimo il primo rame, e lasciassimo isolato lo zinco, questo rappresenterebbe

Fig. 178.

il polo —°; se levassimo l' ultimo zinco, il rame, che rimarrebbe, costituirebbe il polo +°.

12° Vi sono certi corpi e specialmente il bismuto e l'antimonio, i quali, saldati che sieno insieme per ambidue i loro capi, producono una corrente denominata *termoelettrica*; purchè una saldatura sia scaldata più dell' altra. Quindi le pile dette parimente *termoelettriche o di Nobili*. Si saldano insieme (fig. 179.) alternamente tante piccole aste, una di bismuto (B), che è l' elettromotore —°, ed una di antimonio (A), che fa da +°; e poi si ripiegano a zigzag; e se ne formano diversi suoli. Ne nascerà un parallelepipedo, nel

Digitized by Google

quale tutte le saldature alterne debbono rimanere sulla stessa faccia. Questo sistema (fig. 180.) si chiude in una cassa di ottone, avendo cura di lasciare scoperte le saldature alterne. Ciò fatto, basta scaldare alquanto tal faccia, perchè in un filo reoforo, congiungente il primo bismuto coll'ultimo antimonio, scorra l'elettrico, che dalla parte più calda va alla men calda.

13° In generale pei fenomeni elettrostatici si esigono molti elementi bene isolati; perchè essi dipendono dalla tensione, la quale aumenta col numero, non colla estensione degli elettromotori. Ma per i fenomeni elettrodinamici basta anche un elemento, e molto influisce la estensione degli elettromotori: dacchè con questa cresce la quantità dell' elettrico in movimento. Quindi le pile secche, essendo molto lente a ricaricarsi, non sono atte che per i fenomeni di tensione.

Fig. 179.

14° Da quest' ultima avvertenza può trarsi la spiegazione di quell' utile strumento, che appellasi *elettroscopio* di Bohnenberger. È costituito da due pile secche verticali, coi poli inversi, e terminate nell' estremità superiore in due piastrine o bottoni metallici posti in presenza uno dell' altro. Le due pile sono custodite da una campana di vetro, il cui vertice è trapassato da un' asta metallica terminata superiormente in una palla deferente, ed inferiormente in una stretta lista d' oro in foglia. Per la qual cosa, ove si appressi alla detta palla esterna un corpo anche leggermente elettrizzato, la lista si elettrizza per influenza omonimamente, e si slancia verso quello dei due poli delle pile, che possiede la eteronima. E così mostra ad un tempo la quantità, e la qualità dell' elettrico. Si è anche pensato di ottenere in questa lista il moto perpetuo. Perchè, ritolta essa dalla verticale, nel ricadere ed oltrepassare la verticale viene ad elettrizzarsi per l'influenza del polo, a cui si approssima; e così sale più su di quello che farebbe per la legge meccanica del pendolo. Quindi riacquistando per l'attra-

Fig. 180.

zione elettrica ciò che perde per la resistenza dell'aria, per la parziale sua rigidità, ecc., può toccare di qua e di là tutte e due le sfere polari; e se i poli inferiori sieno in comunicazione col suolo, può continuare ad oscillare per molto tempo. Si dice che questo si verifichi già da parecchi anni in qualcuno di tali strumenti; ma spesso avviene che il pendolo elettrico si fermi, o per la incostanza della corrente, o per qualche altra perturbazione non ancora ben determinata.

57. Effetti calorifici e luminosi della corrente. — Una corrente voltaica, che trapassa per un conduttore o continuo o interrotto, offre i fenomeni stessi della scarica di una bottiglia, o di una batteria leidense; ma ad un grado assai più elevato.

I. DEFINIZIONI. 1ª La luce, che scocca nell'interruzione dei due reofori della corrente voltiana, è chiamata *arco voltaico.*

2ª Chiamasi *fosforescenza* l'attitudine, che ànno certe sostanze opache di mostrarsi, in alcune particolari circostanze, splendenti nella oscurità.

II. SCOLII. 1° Con una pila potente ogni metallo, e perfino l'iridio ed il platino, si fondono. Il carbone stesso si ammollisce e s'incurva; il diamante si converte in grafite, od anche in piccoli globuli di carbone fuso. Il filo di platino, con cui si chiude il circuito voltaico, può arroventarsi al grado, da gettare una vivissima luce per tutto il tempo, in cui persevera la corrente.

2° Si avverta che gli effetti calorifici e luminosi dipendono più dalla quantità, che dalla tensione della corrente; in altri termini: dipende più dalla estensione delle coppie, che dal loro numero. Ed in vero tali effetti sono di ordine non elettrostatico, ma elettrodinamico. Per altro i conduttori più fini e meno perfetti si riscaldano ed illuminano più degli altri: donde può concludersi che gli effetti calorifici e lucidi sono dovuti alla resistenza incontrata dalla corrente.

3° I conduttori solidi, col servire per qualche tempo alla produzione dei fenomeni calorifici, divengono più fragili, e si mostrano alterati nella loro struttura moleculare. Siccome tale alterazione non potrebbe aver luogo senza movimento; così è probabile che gli effetti, dei quali trattiamo, non sie-

Digitized by Google

no prodotti direttamente dalla corrente, ma dal moto molecolare causato dalla corrente medesima.

4° Anche i conduttori liquidi si riscaldano. E infatti l'acqua può entrare in ebollizione, ed una soluzione di nitrato d' ammoniaca evapora completamente. In generale più si riscaldano i liquidi meno conduttori.

5° L'arco voltaico (fig. 181.) è analogo alla scintilla elettrica: ma più che una scintilla, è una serie non interrotta di scintille provenienti dalla continuità della corrente. Forse questa luce

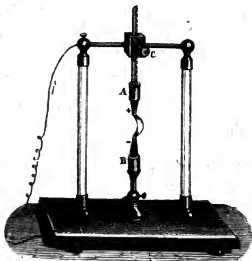



Fig. 181.

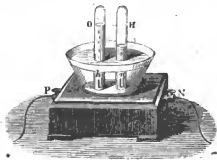
è generata dall' agitazione, e dalla conseguente incandescenza prodotta nella sostanza gassea traversata dall' elettricità. Certo è che essa è la più intensa dopo quella del Sole. Fizeau e Foucault ànno misurato l' intensità della luce ottenuta con 46 elementi alla Bunsen, e l' ànno trovata uguale alla quarta parte di quella del Sole a mezzo giorno. Bunsen l' à veduta uguale a quella di mezzo migliaio di candele. Tale intensità dee derivare dalle particelle solide che sono staccate e trasportate dalla corrente; come la polvere di car-

bone, e i fili di platino avvivano la fioca luce dell' idrogene, e dell' acquarzente.

6° Ma quello che è più interessante si è che la luce elettrica arde anche sott' acqua, e in qualsivoglia liquido; e tanto meglio, quanto questo è peggior conduttore. Il che prova, come la luce ed il calorico dell' arco voltaico non provengano dalla combustione, che *per accidens* vi si associa nell'aria.

7° Se i due roofori posseggono uguale conducibilità (se no, sempre si scalda più il meno conduttore) è più caldo l'elettrodo +° del —°; anzi quello trasporta più abbondantemente di questo la materia ponderabile. Di più (come accortamente avvertì fin dal principio dell' anno scorso il nostro bravo professore romano Francesco Ratti) incontro al polo positivo, e dentro una non grande circonferenza, si spande una luce più viva, che in ogni altra parte.

Fig. 182.

8° La luce elettrica dà uno spettro, come la solare; ma, secondo quello che abbiamo già (29. II. 3°) accennato, vi si osservano delle strie assai brillanti, e varie secondo la varietà dei corpi, fra i quali scocca. Di più essa, come la solare, attribuisce la fosforescenza a certe sostanze, quali sono lo zucchero cristallizzato, l' acetato di potassa, il solfato di barite, il cristallo di monte; facendo risplendere quelli di luce verde, e questo di luce prima rossa e poscia bianca. Che poi tale effetto debbasi non all'elettrico, ma alla sua luce, apparisce da ciò, che basta allo scopo far passare l' elettricità vicino a quelle sostanze fosforiche, e che in tal caso queste possono anche essere racchiuse in tubi di vetro; purchè per altra tali tubi sieno di color violetto o torchino. Del resto gli effetti di questo genere si ottengono meglio colla scintilla, che coll'arco voltaico.

III. LEGGI. Facendo pescare nell' acquarzente, che è poco

conduttrice, un filo metallico ed un termometro; si può misurare il riscaldamento, che la corrente, nel trapassare pel detto filo, desta in un tempo determinato. Con questo metodo sono state trovate le seguenti leggi.

1ª *A parità di quantità della corrente, il riscaldamento è il medesimo in tutta la estensione di un medesimo filo comunque lungo, ma ugualmente grosso; e per fili diversi è in ragione inversa della loro conducibilità.* Onde ad ottenere il riscaldamento medesimo in fili più lunghi, bisogna aumentare proporzionalmente la intensità della corrente, affinchè ne passi sul filo sempre la stessa quantità.

2ª *Il riscaldamento è in ragione diretta del quadrato della quantità dell'elettrico, che passa in un tempo dato, ed inversa della quarta potenza del diametro del filo.*

58. Effetti chimici della corrente elettrica. — I. SCOLII. 1° Già (**51.** III.10°) abbiamo veduto che la stessa scarica decompone l'acqua. Ebbene: la prima decomposizione dell'acqua per mezzo dell'elettricità è stata quella ottenuta colla pila da Carlisle, e Nicholson. Sia fig. 182.) un vasetto di vetro; il cui fondo venga traversato a tenuta d'acqua da due fili di platino (*h*, *n*,), il primo dei quali comunichi col polo +° (P), ed il secondo col —° (N) di una pila voltaica. Versata dell'acqua nel vase, s'empiano parimente d'acqua due campanelle (O, H), e si capovolgano nel recipiente in guisa, che in una (H) si ritrovi l'elettroforo negativo (*n*), e nell'altra (O) il positivo (*h*). Si vedranno delle bollicine gassee salire nelle campanelle con velocità, che potrà aumentarsi col rendere più conduttrice l'acqua per mezzo di un sale, o di un acido scioltovi Or bene: sempre sul —° (in H) si trova un volume di gasse doppio di quello che trovasi sul +° (in O); di più il gasse, che è metà, à tutti i caratteri dell'ossigene, e l'altro, che è doppio, à tutti quelli dell'idrogene.

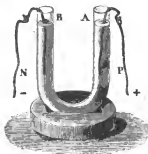



Fig. 183.

2° La stessa azione fa la corrente sugli ossidi, sugli acidi, e sui sali; in tutti insomma i composti conduttori, e liquidi. Così si è ritrovato che le terre sono osssidi metallici. La decomposizione dei sali si mostra con un tubo (fig.183.) ricurvo, in cui si versa una dissoluzione di solfato di potassa o di soda tinta in violetto collo sciroppo di viole. Terminando i reofori con filo di platino, uno di questi capi s'immerge in un braccio (A) del sifone, e l'altro nell'altro (B). Dopo qualche minuto il braccio positivo (A) si arrossa, ed il negativo (B) verdeggia [1].

3° Nelle decomposizioni effettuate dalla corrente, non accade solamente separazione degli elementi, ma vero traspor-

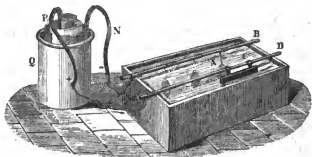



Fig. 184.

1 L' inargentatura, la indoratura galvanica, e la galvanoplastica sono applicazioni della decomposizione dei sali per mezzo della corrente. Si versi in una capsula coibente (fig.184.) una soluzione di cloruro d'oro, o d' argento, secondo che si tratta di doratura o argentatura: dopo ciò per mezzo di un'asta metallica (B), comunicante col reoforo —°, si tenga immersa nella detta soluzione la medaglia (A), il candeliere, l' oggetto insomma da dorarsi od argentarsi. Ad un' altra asta (D) si annetta il reoforo +°, ed un pezzo (C) del metallo, che è la base del sale; affinchè possa pescare nella soluzione del sale medesimo. La corrente elettrica fa precipitare e aderire all'elettrodo —° il metallo sciolto nel sale; e discioglie il metallo sospeso all'elettrodo +°, e così la soluzione si mantiene costantemente satura. E questa è la doratura, o argentatura galvanica, ideata fin dal 1803 da Brugnatelli scolaro di Volta, ed eseguita con successo primieramente da Delarive.

Se poi si voglia prendere l'impronta di una medaglia o di qualche altro oggetto, è necessario che lo strato metallico depositato su di esso

to di uno di essi al polo +°, e dell'altro al —°. Due sperienze di Davy sono interessanti a tal proposito. I. Si versi della soluzione di solfato di soda in due bicchierini, e questi riuniscansi con un lucignolo d'amianto inumidito nella soluzione medesima; e poi si immerga il capo di platino del reoforo +° nel primo bicchierino, ed il capo pur di platino del —° si tuffi nel secondo. Dopo alcune ore, nel primo bicchierino vi è tutto acido, e tutta soda nel secondo. Ecco perchè tutte le sostanze sono dai Chimici distribuite in elettropositive, ed elettronegative. II. Si versi nel primo (A) di tre bicchierini (fig.185.) dell'acqua pura, nel secondo (B) dello sciroppo di viole allungato, e nel terzo (C) della soluzione di solfato di soda; e poi i tre liquidi si facciano comunicare con lucignoli d'amianto bagnati, e si faccia passare la corrente dal primo (A) al terzo (C); il solfato è decomposto, la soda rimane nel bicchiere —°, e l'acido è trasportato nel primo bicchiere +°. Se al contrario la corrente

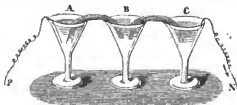



Fig. 185.

va dal terzo (C) al primo (A), la soda si reca nell'acqua (A) e l'acido rimane al posto suo. In ogni caso la tintura di viole non è nè arrossata, nè inverdita, pel passaggio dell'acido o della base. Anzi, se nel vase di mezzo (B) si ritrovi dell'acido nitrico, che à grande affinità per la potassa, questa lo trapassa senza essere trattenuta.

II. DEFINIZIONI. 1ª La decomposizione effettuata dalla corrente, da ἤλεκτρον e λύσις *scioglimento*, chiamasi *elettròlisi*.

sia più grosso e possa staccarsi dall'originale. Per la qual cosa questo si ricopre di piombaggine, e poi s'immerge in una soluzione di solfato di rame, tenendo la piombaggine in comunicazione col polo —°; e nella soluzione si fa pescare un pezzo di rame, comunicante col polo +°. Tale è il principio fondamentale della galvanoplastica, inventata in Russia da Iacobi nel 1838; e così chiamata da πλάσσω *formare*, e dal nome di Galvani, che diede il primo passo nella via, che metteva a questa scoperta.

Digitized by Google

2ª I corpi decomponibili per elettròlisi son detti *elettròliti.*

3ª Da ἤλεκτρον ed ὁδὸς *strada* dicesi *elèttrodo* il reoforo che serve all' elettròlisi, e più rigorosamente quella parte di esso che è in contatto coll'elettròlito.

4ª Lo strumento sopra (I. 1°) descritto, col quale si fa l' elettrolisi dell' acqua, siccome può servire a misurare le grandi correnti voltaiche, così à nome *voltametro.*

III. PROPOSIZIONE. *La forza chimica della corrente è definita.*

Dimostrazione. I. Facendo passare la corrente per un voltametro, dopo un certo tempo si otterrà una certa quantità d' idrogene. Se nel circuito s' interpongano, due, tre,.... voltametri in guisa, che la corrente debba traversarli uno dopo l' altro; ognuna delle quantità d' idrogene, che si raccoglierà in ciascun voltametro, sarà sempre molto minore, ma da per tutto se ne raccoglierà nello stesso tempo la quantità medesima. II. Si osserva la cosa medesima, ancorchè nei diversi voltametri vi sieno soluzioni acide, o alcaline, o saline; ancorchè queste soluzioni sieno diversamente concentrate; ancorchè gli elettrodi trovinsi a diversa distanza, e sieno di diversa grandezza. E quest' ultima circostanza è assai notabile, mentre l' elettrolisi non si manifesta che sulla superficie dell' elettrodo, in quella sua parte cioè che è in contatto col liquido; e affatto nulla non se ne scopre nel resto della massa liquida. Coll' aumentare il numero dei voltametri, l'elettrolisi diverrà debole tanto da non potersi più misurare la quantità di gasse ottenuta nel tempo solito. Ond'è che ogni nuovo strato d' acqua, cui la corrente dee traversare, oppone un' altra resistenza, e la corrente è indebolita; ma una data corrente possiede una determinata forza elettrolizzante. III. Poniamo che alla corrente vengano presentate più strade da percorrersi contemporaneamente. Essa si suddivide fra tali strade, e le quantità di gasse fornite dalle singole correnti parziali, sommate che sieno insieme, uguagliano la quantità prodotta nel tempo stesso dalla corrente indivisa.

IV. COROLLARII. Da questa legge, chiamata *dell' invariabilità dell' azione elettrolitica*, discendono varie conseguenze.

1° Le quantità ponderabili degli elementi separati da una stessa corrente, che trapassa per diversi elettroliti, sono pro-

porzionali agli equivalenti chimici degli elementi medesimi. Infatti ove si faccia scorrere la corrente medesima successivamente per diversi composti binarii, ossidi, cloruri, ioduri, cianuri; si ottiene un equivalente di ossigene, di cloro, di iodio, del cianogene al polo +°, ed un equivalente del metallo al —° [1].

2° Dunque nella corrente elettrica deve distinguersi la quantità dalla intensità. Quella si deve inferire dalla massa decomposta di un elettrolito qualunque: questa dalla massa medesima considerata in relazione al tempo. Onde è che, quando la corrente avrà decomposto un dato peso d'acqua, sarà certamente passata una certa *quantità* d'elettrico; ma si dirà che la corrente avea tanto maggiore *intensità*, quanto più breve fu il tempo impiegato in quella elettrolisi. E questa è la ragione, che à suggerito il nome da darsi al voltametro. Ma si avverta, che tale strumento diminuisce l'intensità della corrente; e però esso non misura la forza pel caso della sua assenza.

59. Effetti fisiologici della corrente elettrica. — I. DEFINIZIONI. 1° Si chiamano *effetti fisiologici* i fenomeni, che l'elettrico produce nei corpi organizzati.

1 Questa legge soffre un'eccezione nel caso assai raro ed oscuro, in cui un equivalente di una sostanza trovisi combinato con più equivalenti di un'altra.

Si avverta ancora che quando la corrente trapassa per più elettroliti mesciuti insieme, tal volta scompone un solo elettrolito, e tale altra più di uno. Il che proviene dalla forza della corrente, dalla natura, conducibilità, quantità relativa degli elettroliti. Sempre per altro le somme degli elementi scomposti sono equivalenti.

Nelle decomposizioni dei sali poi certe volte l'acqua è analizzata come se fosse sola, e allora all'elettrodo —° rimane la base indecomposta; certe altre si sviluppa l'ossigene all'elettrodo +°, senza il corrispondente idrogene al —°, e allora in questo ritrovasi il metallo ripristinato. Prima si supponeva che sempre l'acqua restasse elettrolizzata; ma se la base fosse riducibile dall'idrogene, si riproducesse l'acqua, e precipitasse il metallo; se no, si sviluppasse l'idrogene ed il metallo restasse indecomposto. Ma siccome la detta supposizione contraddice alla legge della invariabilità dell'azione elettrolitica; così sembra più ragionevole supporre che sempre l'acido e l'ossigene della base vadano al polo +°, ed il solo metallo al —°; ma qui che possa esservi sviluppo anche d'idrogene, non per elettrosi, ma per l'affinità che il metallo del sale potrà avere verso l'ossigene dell'acqua.

Digitized by Google

salsa contenuta in due vasi comunicanti coi reofori, oltre le due scosse dell' entrare ed uscire della corrente, si soffre un crescente bruciore, che diviene insoffribile. Ma posto che la corrente sia debole , secondo le sperienze di Marianini e di Lehot, se essa è diretta, produce nell'entrare una contrazione muscolare, ed una sensazione dolorosa nell' uscire ; se poi è inversa, vi è la sensazione dolorosa finchè essa persevera, e nel suo uscire à luogo lo scotimento. Il che prova che la corrente induce negli animali due alterazioni diverse, che sussistono tanto, quanto essa dura. Infatti, se cangisi la direzione della corrente, o se ne sovraggiunga una più energica, le contrazioni si manifestano di bel nuovo.

6° Molto più intensi sono i fenomeni, se l'animale si sottoponga al passaggio di una corrente rapidamente interrotta per mezzo di un reotomo; che può essere costituito da una ruota metallica, il cui asse comunichi con un reoforo, ed i cui denti tocchino interrottamente e successivamente l'altro. Allora i muscoli acquistano una spasmodica rigidità, che può degenerare in un tetano. Ma coll' aumentare , oltre un certo limite (che è vario secondo gl'individui e la forza della corrente), la frequenza delle correnti, le contrazioni possono diminuire; ed anche cessare, ove la loro frequenza sia tale, da farle equivalere ad una corrente continua.

7° L'influsso, che l'elettrico o per sè stesso, o per la sua azione, vuoi calorifica vuoi chimica, esercita sulle funzioni dei vegetali, è finora assai oscuro e poco interessante.

60. Effetti dinamici delle correnti elettriche. — I. DEFINIZIONI. 1ª Si dicono *effetti dinamici* le attrazioni e ripulsioni, che esercitano fra di loro le correnti elettriche.

2ª Chiameremo *dirette* quelle correnti che vanno dalla stessa parte; quelle per esempio che vanno tutte o destrorso, o sinistrorso, o verso la base, o verso il vertice dell'angolo, cui per avventura formano insieme.

3ª Le diremo poi *inverse*, se una esempigrazia va destrorso e l'altra sinistrorso, una sale e l' altra scende, oppure una s'avvia verso il vertice, e l'altra verso la base dell' angolo formato da esse medesime.

4ª Una corrente si chiama *fissa* o *mobile*, *orizzontale*, *cir*—

colare, *rettilinea*, *ecc.*, secondo che il filo, il quale la conduce, è fisso, o mobile, o circolare ecc.

5ª Fra le correnti stesse circolari diremo che vanno *destrorso* quelle che si ravvolgono nel senso stesso, in cui girano le sfere dell' orologio, o i pani della vite; e che vanno *sinistrorso* quelle che avvolgonsi in direzione opposta.

II. PROPOSIZIONI. 1ª *Due correnti dirette si attraggono mutuamente, e due inverse si respingono.*

Dimostrazione. Per esperimentare l'azione mutua delle correnti, si usa l'apparecchio chiamato dal nome del suo inventore il *tavolino di Ampère* (fig.186.), e disposto nel modo seguente. Il reoforo +° (P) si mette in comunicazione colla base di una colonna metallica verticale (H), ed il —° si annette al capitello di un' altra colonna (K) pur verticale. Ora il capitello della prima colonna (H), per mezzo di un filo e di un braccio metallico (A), trovasi in comunicazione con un vasellettino di rame (B) interposto alle due colonne, e pieno d' idrargiro ; e la base della seconda (K), per mezzo di un altro filo, pur metallico, comunica con un altro simile vasellettino (C) giacente verticalmente sotto il primo (B). Pertanto, ove in questi due vasellini si facciano pescare i capi verticali di un così detto *telarino*, ossia di un filo metallico, mobile, ravvolto ad uno o più parallelogrammi giacenti nel medesimo piano, questo sarà percorso da una corrente, che dal vasello superiore rifluirà all' inferiore. 1ª Posto ciò, parliamo primieramente delle correnti parallele. A tal uopo il telarino è costruito in modo che, posando un suo capo al vasetto supe-

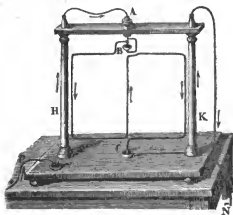



Fig. 186.

riore, il filo venga orizzontalmente alla colonna sinistra (H), discenda verticalmente a fianco di questa, poi corra orizzontale e, giunto sopra il vasetto inferiore, si rialzi fin quasi al superiore, si rivolga verso la colonna sinistra (K), ricada allato di questa, e vada coll'altra sua estremità a tuffarsi nell'idrargiro. Per la qual cosa ciascuna delle due correnti ascendenti delle colonne si troverà in presenza di una corrente discendente del telarino. Or bene; questo, che viene ad essere volubile intorno alla retta verticale (BC), passante per i due va-

Fig. 187.

setti, di fatto si volge quasi fuggendo dalle colonne; e dopo varie oscillazioni si ferma in un piano ortogonale a quello delle colonne. Se invece a questo telarino se ne sostituisca un altro (fig. 187.) fatto in modo, che la corrente riesca ascendente in ambedue i lati estremi verticali, e si collochi fuori del piano delle colonne, esso da sè medesimo si fermerà nel detto piano. Sono dunque manifeste le attrazioni fra correnti parallele dirette, e le ripulsioni fra le parallele ed inverse. II. Adesso poniamo che le due correnti stieno ad

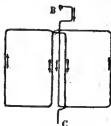
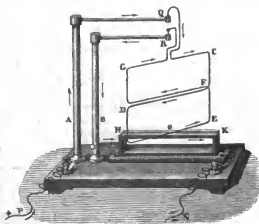



Fig. 188.

angolo. Ciò potrà ottenersi (fig. 188.) facendo che i due vasellettini (Q, R) stieno nella parte superiore; che sotto al telarino sia teso un filo metallico (HK) orizzontale, fisso; e che

la corrente, dopo essere salita per una colonna (A), e giunta al vasetto superiore (Q), debba scorrere pel telarino (secondo le frecce) disposto in guisa, che pel suo lato inferiore (OE) questessa (corrente) proceda inversa a quella del filo fisso, quindi gettisi nel vasetto (R) alquanto sottoposto al primo, discenda per l' altra colonna (B), proceda pel filo orizzontale fisso (HK), e ritorni al polo —°. Se il piano del telarino fa angolo (EOK) acuto colla corrente (HK) orizzontale fissa, e le correnti orizzontali vanno destrorso ; si vedrà che il telarino medesimo gira per mettersi nel piano verticale della corrente fissa. Se poi il telarino è costruito (fig.189.) in modo, che la corrente mobile inferiore si diriga sinistrorso , allora i due angoli acuti (fatti dalla corrente fissa colla mobile) pel moto del telarino si ingrandiscono, e gli ottusi si impiccoliscono, ed il telarino gira di quasi 180°. In ogni caso il risultato è, che le due correnti riescono parallele e dirette.

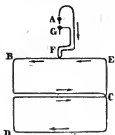
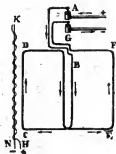



Fig. 189.

2ª *Una corrente sinuosa esercita la stessa forza attraente o repellente, come se fosse rettilinea e lunga quanto la sua proiezione.*

Dimostrazione. In prossimità (fig. 190.) di una corrente mobile (ABCDEFG) si disponga una corrente fissa (HKN), metà (HK) sinuosa, e metà (KN) rettilinea. Non avrà luogo allora nè attrazione, nè ripulsione. E ciò prova che l'azione della corrente sinuosa è uguale a quella della rettilinea, lunga appunto quanto la proiezione di quella.

Fig. 190.

III. COROLLARII. 1° Dunque una corrente orizzontale mobile, ma girevole intorno a un punto, per l'azione di una corrente fissa posta nello stesso piano orizzontale , roterà intorno al detto punto. Imperocchè quando (fig.191.) la corrente mo-

bile (AO) è parallela alla fissa (PN) vi è attrazione, e quella gira per appressarsi a questa. Dopo fra le due correnti (OA′,PN) ad angolo acuto vi sarà ancora attrazione; e ripulsione fra quelle ad angolo ottuso, cioè fra la mobile (A′O), e la porzione (QN) negativa della fissa; e così la mobile sèguita a girare. Divenuta questa (OA″) normale alla fissa, risentirà attrazione verso destra e ripulsione dalla sinistra, e seguiterà a girare indefinitamente. Se muta direzione la corrente fissa, cangia evidentemente il senso della rotazione.

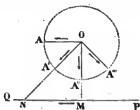



Fig. 191.

2° Una corrente orizzontale, e mobile intorno al centro di una circonferenza, girerà, se la circonferenza sia percorsa da una corrente fissa. Dacchè (fig. 192.) la corrente mobile (PM) farà in ogni sito colla fissa (ABC) due angoli retti, in un dei quali (PAC) vi è sempre attrazione, e nell'altro (PAB) vi è sempre ripulsione.

Fig. 192.

3° Dunque una corrente circolare ed orizzontale imprime un moto continuo di rotazione anche ad una corrente rettilinea verticale. Infatti poniamo che (fig. 193.) dal centro di una scatola di rame piena di acqua

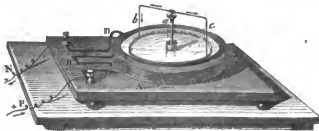



Fig. 193.

acidula si sollevi per mezzo di un' asta metallica un vasellettino di rame (*a*) con idrargiro. Poniamo inoltre che in questo sia tuffata la punta di un perno, sostenente un filo di

Digitized by Google

rame ripiegato in due braccia (*b*, *c*) verticali; e che queste sieno saldate ad un anello leggerissimo di rame immerso nel liquido. Infine poniamo che un filo di rame comunicante col polo +° di una pila ed isolato con seta, lana, o guttapercha, ambisca più volte tutto intorno la scatola, e poi vada a mettersi in comunicazione coll'asta mediana (*a*); ed un altro filo metallico con un capo tocchi la parete del vaso e coll'altro si rechi al polo —° della pila medesima. Una corrente circolerà più volte intorno alla scatola, salirà al vasetto, ricadrà per i due fili verticali nell' anello di rame, si comunicherà pel liquido alla parete del vase, e si riporterà all'apparecchio elettromotore. Quindi l'anello dovrà girare nel senso inverso della corrente circolare, in virtù dell' attrazione e ripulsione che si esercita fra le due correnti ad angolo, una fissa e l'altra mobile.

Fig. 194.

61. Effetti magnetici della corrente elettrica. — I. scolio. Già (**51.** III.) fu dimostrato che la corrente dell'elettrico eccitato meccanicamente fa deviare l'ago calamitato, spingendone il polo nort alla sua sinistra. Al quale effetto si presta assai meglio la corrente voltiana: e infatti fu con questa che Oersted pel primo ottenne tal deviazione (fig.194.). Ond'è che, se un ago ritrovisi in bilico o sospeso sopra una serie di correnti parallele, si mette in croce, ossia ad angolo retto con queste: e viceversa, un sistema di correnti parallele fra loro e mobili, se si porti sopra o sotto una calamita fissa, si disporrà in senso ortogonale a questa, ed in maniera che quell' estremo del sistema, ove trovasi la sinistra della corrente, rimarrà sempre dalla parte del polo nort,

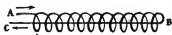



Fig. 195.

e l'altro, in cui trovasi la destra, rimarrà a sud. Quindi quello strumento, di cui facemmo menzione (**51**. III.) nel dimostrare questa proprietà della corrente, serve principalmente per misurare l'intensità ed avvertire l'andamento delle correnti voltiane.

II. Definizioni. 1ª Si chiama *solenoide* e *cilindro elettrodinamico* (fig. 195.) un filo mobile, prima ravvolto in elica circolare, e poi ripiegato rettilineamente sopra sè stesso, e tutto percorso dalla corrente.

2ª Gli estremi di un solenoide chiamansi *poli*.

3ª Quel polo del solenoide, che posto sopra una sbarra calamitata si colloca sul polo nort di questa, chiamasi *nort*, e *sud* è chiamato l'altro.

4ª Si dice *galvanometro*, o *moltiplicatore*, od anche *reometro* quello strumento sensibilissimo (fig. 196.) che, per la deviazione dell' ago astatico, mostra il senso e l'intensità delle correnti.

Fig. 196.

III. Proposizione. *Il solenoide possiede le tre virtù della calamita.*

Dimostrazione della 1ª parte. Per dimostrare sperimentalmente la proposizione, le estremità del solenoide (fig. 197.) soglionsi ripiegare in maniera da potere essere immerse nell'idrargiro dei vasellettini del tavolino d'Ampère. Si noti innanzi tratto che, se il filo del solenoide sia vestito di seta, le spire possono farsi strettissime, ed allora operano come se fossero esattamente parallele: dacchè la somma delle deviazioni dal parallelismo è elisa dalla corrente ret-

tilinea, che passa per mezzo al solenoide in senso inverso alla successione delle spire medesime. Poste le quali cose, si sappia, che un solenoide, sospeso al tavolino d'Ampère, allora solamente è in equilibrio, quando l'asse suo giace nel piano del meridiano magnetico, ed i suoi poli guardano gli omonimi terrestri. In tal caso le porzioni delle correnti, che formano i semicircoli inferiori ossia riguardanti la Terra, procedono tutte da est ad ovest, e il polo nort magnetico terrestre rimane alla destra della corrente. Dunque il solenoide à la virtù direttiva.

Fig. 197.

Dimostrazione della 2ª *parte*. Se sul solenoide si sbruffi della limatura di ferro, questa vi resta attaccata, come farebbe sopra una calamita. Anzi il solenoide medesimo si ap-

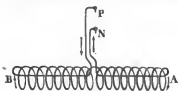
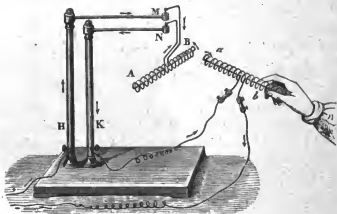



Fig. 198.

pressa a tutte le sostanze paramagnetiche, e fugge dalle diamagnetiche: di più (fig.198.) fra i due poli (B, *a*) eteronimi di due solenoidi, o di un solenoide e di una calamita, vi è attrazione; fra i due omonimi (A,*a*; B,*b*) vi è ripulsione. Dunque il solenoide à la virtù attrattiva e ripulsiva.

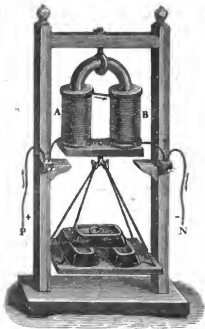
Dimostrazione della 3ª *parte*. Mettendo nell'interno di un solenoide un cilindro di ferro, questo si calamita; e, se è dolce, si mantiene tale finchè rimane là dentro; se poi è temprato e combinato con carbonio (ossia è acciaio), rimane stabilmente tale anche dopo essere stato estratto dal solenoide. In ogni caso, se l'elice del solenoide è destrorso, il polo sud o boreale della calamita ritrovasi dalla parte, in cui entra la corrente; se invece è sinistrorso, il detto polo sta nel lato donde la corrente esce. Anzi un metodo assai efficace per far le calamite artificiali è di strisciare l'acciaio, più volte, e sempre per un verso, sopra il ferro dolce circuito da un solenoide in azione. Per conseguenza il solenoide à la virtù comunicativa.

Fig. 199.

IV. COROLLARII.

1° Dunque la calamita non è che un sistema di correnti elettriche parallele (fig. 200.). Poichè un solenoide (che è un sistema di correnti elettriche parallele) à tutte le virtù della calamita; questo sistema è una cagion vera e sufficiente di tutti i fatti delle calamite. Un'altra cagione diversa dei fenomeni stessi sarebbe quindi un'assurda superfetazione.

2° Il magnetismo non esiste. Dacchè *non plures admittendae sunt causae, quam quae verae sunt et explicandis phoenomenis sufficiunt*. Ora l'elettrico è una cagione, di cui non può negarsi l'esistenza. Si potrà disputare sulla natura del-

l'elettricità; ma non si potrà mai negare che esista. Oltre ciò coll'elettrico circolante si spiegano tutti i fenomeni del magnetismo. Dunque questo non esiste. Tanto più che il fluido magnetico fu già supposto per la necessità di dare ragione di certi fatti, che non si potevano allora attribuire a veruna delle cagioni conosciute.

V. SCOLII. 1° La virtù magnetica induttiva del solenoide, e la conseguente calamitazione temporanea del ferro dolce, à dato occasione alla invenzione dei così detti *elettromagneti*, o *calamite temporanee*. Queste sono costituite (fig. 199.) da un ferro dolce (AB) ravvolto a ferro di cavallo, e ricoperto di più eliche (poste una sull'altra) di filo di rame vestito di seta.

2° Molti congegni sono stati ideati per adoperare come forza motrice l'attrazione degli elettromagneti [1]. Il mezzo comu-

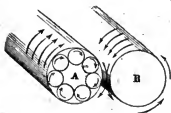



Fig. 200.

[1] Un esemplare di motori elettromagnetici può essere la macchina di Froment. Essa (fig. 201.) è composta di quattro potenti elettromagneti A, B, C, D fissati ad un sostegno immobile. Fra questi vi è un sistema di due ruote mobili intorno al medesimo asse orizzontale, e munite sul loro contorno di otto armature M. La corrente giunge in K, sale nel filo E, ed investe un arco metallico *o* reotomo (o distributore) destinato a mandarla successivamente agli elettromagneti, e sospenderla quando incontro a questi ritrovansi le armature. A tale scopo l'arco *o* porta tre bracci *c*, terminati ognuno in una lama d'acciaio, che è alquanto distaccata da un'altra asta metallica, per cui la corrente può proseguire agli elettromagneti. Uno di questi bracci corrisponde coi due elettromagneti inferiori, e gli altri due ai due orizzontali. Al centro dell'arco medesimo vi è una ruota, dotata di quattro monticelli, sui quali poggiano le lame sopraddette, cosicchè ogni volta che uno di tali monticelli passa sotto una diversa lama, questa tocca l'asta, e la corrente è stabilita; e così gli elettromagneti operano uno dopo l'altro, e la corrente non ne lascia uno senza che passi a circolare intorno all'altro. Perciò le armature non arrivano che successivamente in prossimità di ciascun elettromagnete. È facile intendere come da questo moto circolare possa trarsi qualunque altro moto. Che se gli elettromagneti fossero posti sopra un carretto a quattro ruote, e fra queste si ritrovasse la gran ruota colle armature sopradescritte, se ne avrebbe una locomotiva elettrica.

nemente adottato consiste nel porre più calamite temporarie intorno alla circonferenza di una ruota, su ciascun raggio della quale sia saldata parallelamente all' asse (della ruota medesima) una lista di ferro dolce, chiamata *armatura*. Allora facendo passare la corrente prima per un distributore, e

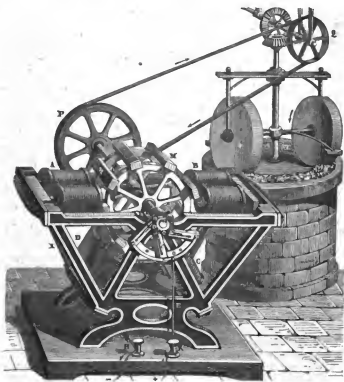



Fig. 201.

Tutte le macchine di simil genere esigono nel loro uso spese troppo ingenti; e però non possono per ora sostituirsi al vapore.

La corrente elettrica è stata applicata assai utilmente per replicare l' indicazione delle ore di un orologio sopra una o più mostre, anche distanti assai dall' orologio medesimo. Il che è molto facile ad ottenersi: giacchè è il pendolo del primo orologio, il quale essendo introdotto nel circuito elettrico, e toccando in ogni oscillazione un capo del reoforo,

Digitized by Google

poi per gli elettromagneti, si possono disporre le cose in guisa, che, quando le armature stanno per giungere davanti agli elettromagneti, questi sieno percorsi dalla corrente, ed

stabilisce la comunicazione elettrica, e la corrente. Quindi si magnetizza a tratti l'elettromagnete aggiunto alla mostra, su cui si vuole l'indicazione delle ore; ed il secondo pendolo (che regola lo scappamento dell'indice della detta mostra) oscilla sincronicamente col primo, e fa segnare l'ora medesima.

Serve anche la corrente per i tiri di campanello, specialmente nelle locande. Per essa viene scaricata la molla, a cui è annesso il campanello, e nel tempo stesso si scopre il numero della camera, donde parte la chiamata.

Si è applicata eziandio la corrente elettrica alla misura degli intervalli di tempo estremamente brevi, e ne sono nati i così detti *cronoscopii* e *cronografi*. Per esempio supponiamo che il movimento, o almeno l'indice di un orologio capace di segnare i millesimi di secondo, sia trattenuto dall'ancora di un elettromagnete calamitato; inoltre facciamo che il circuito metallico, od il reoforo, passi davanti alla bocca di un cannone, e di più sia congiunto con due altri fili, uno dei quali vada allo scopo e l'altro ad una piastra sottoposta; e finalmente le cose sieno combinate in modo, che lo scopo, quando è colpito dalla palla, tocchi la sottoposta piastra, e metta in comunicazione i due detti fili. Prima che il cannone spari, l'indice sta fermo; ma all'uscire della palla si rompe il circuito, e l'ancora lascia libero o l'orologio a muoversi o l'indice ad ingranare collo scappamento. Ma appena la palla giunge allo scopo, di nuovo si chiude il circuito, e l'àncora arresta il moto dell'indice. Il numero dei millesimi di secondo, percorsi dall'indice medesimo, rappresenta il tempo impiegato dalla palla nel suo tragitto. Wheatstone à applicato il suo cronoscopio allo studio della caduta dei corpi, ed à costruito su tal principio una macchina capace di dare i risultati di quella di Atwood.

Bonelli, nei telari, ai cartoni alla Iacquard à sostituito dei sistemi di elettromagneti e di reotomi, disposti in maniera da mettere in attività quei soli elettromagneti, che corrispondono ai fili, i quali debbono essere sollevati per ottenere il disegno prestabilito.

Wheatstone à applicato la corrente per registrare periodicamente le osservazioni meteorologiche; cioè la forza e la direzione dei venti, i gradi del psicrometro, le altezze del barometro, e simili.

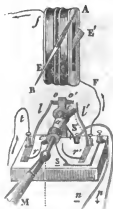
Airy à stabilito all'osservatorio di Greenwich un apparecchio, con cui si registra l'istante preciso del passaggio delle stelle. Foucault colla corrente mantiene per ore e giorni il movimento del pendolo, che colla sua deviazione dimostra la rotazione terrestre. Staite, Petri, e Foucault anno applicato in diversa maniera la corrente per riportare alla necessaria vicinanza i carboni, che nel produrre l'arco voltaico si vengono consumando. Insomma ogni giorno si fanno nuove, e sempre più utili applicazioni di questo mirabile, e velocissimo agente fisico chiamato *elettrico*.

Digitized by Google

attraendo a sè le armature medesime facciano girare la ruota: quando invece le armature sono arrivate incontro agli elettromagneti, in questi cessi la corrente; e quindi la ruota sia libera a proseguire il movimento per la velocità preconcepita, e così riportare le sue armature in prossimità degli elettromagneti; affinchè, ristaurandosi in questi la corrente, quelle sieno di nuovo attratte e il moto continui senza interruzione.

3° La deviazione dell'ago per virtù delle correnti à un principio di spiegazione nella virtù magnetica attrattiva del solenoide. In fatti le spire del galvanometro rappresentano come tanti solenoidi, uno dentro l'altro; e sono disposte con tutti i loro poli omonimi dalla stessa parte. Ma fra i poli eteronimi di un solenoide e di una calamita vi è tale attrazione, che in fine il solenoide si colloca coll' asse parallelo a quello della calamita, e con ciascun suo polo in presenza all' eteronimo di questa. Dunque se la corrrente sia o per sè, o pel numero delle sue ripetizioni abbastanza energica, l'ago calamitato deve portare il suo polo nort alla sinistra delle correnti, e porsi in croce colla direzione di quelle stesse.

Fig. 202.

4° La virtù magnetica dei solenoidi dà spiegazione dei così detti *telegrafi* [1]

[1] I telegrafi elettrici, dei quali è più interessante dare almeno una succinta contezza, sono di quattro specie; cioè quelli *a deviazione di ago*, quelli *a quadrante*, gli *imprimenti*, e gli *elettrochimici*.

I. Il telegrafo *a deviazione di ago* consiste (fig.202.) in una specie di galvanometro (E), il cui ago sia mobile in un piano verticale. Imperocchè facciamo che uno dei due reofori di un apparecchio elettromotore sia in comunicazione col terreno; e l'altro filo giunga isolato fino al posto del corrispondente, ed ivi dopo essersi ravvolto più fiate intorno ad un rocchetto (sottoposto ad un ago equilibrato verticalmente e mobile) si profondi nel suolo. È manifesto che, se uno dei due roofori abbia un'interruzione, ogni volta che ci piacerà di riunire insieme i due capi di questa interruzione medesima, il rocchetto sarà percorso dalla corrente, e l'ago dovrà deviare. Ove dunque siasi fatta la convenzione, che il segno

elettrici, i quali non sono altro che attrezzi, pei quali in virtù della corrente elettrica si producono a qualsivoglia distanza dei segnali, atti a rappresentare delle parole. Il loro principio fondamentale consiste in ciò, che mandando nel

finale, l'*a*, ed il *b* vengano rappresentati da una, due, tre deviazioni consecutive a sinistra, il *c* da una a destra ed una a sinistra, il *d* viceversa, e così di séguito per gli altri; si potrà con tutta facilità rappresentare alla stazione del corrispondente una serie di lettere, distinte col segno finale al termine di ciascuna parola, e costituenti un intero dispaccio. Anzi potrà anche aversene la risposta. Basta a ciò che un simile moltiplicatore ritrovisi eziandio là, donde il dispaccio partì. Per altro dove questo sistema è in uso, soglionsi adoperare due moltiplicatori (fig. **203.**); e così altre lettere o segni sono rappresentati da uno, altri dall'altro, ed altri finalmente dalla deviazione contemporanea di ambidue gli aghi.

Fig. 203.

11. Ma i telegrafi più comunemente in uso agiscono per un elettromagnete. Si comprende facilmente che se nel sito anche lontano, dove sta il corrispondente, si ritrovi un elettromagnete (fig.**204.**) orizzontale (*b*) dotato di un'àncora (*a*) mobile intorno ad un asse orizzontale ed equilibrata o tirata da una molla (*r*), in guisa da restare ordinariamente staccata dall'elettromagnete (*b*); e di più un capo del filo, che si ravvolge intorno a questo, rimanga sepolto nel terreno, e l'altro capo dello stesso giunga fino a noi, potremo (col solo chiudere ed aprire il circùito, ossia col solo riunire o staccare i due estremi di un'interruzione del reoforo) far battere colaggiù l'àncora (*a*) sull'elettromagnete (*b*). Ora, se l'àncora stessa abbia una coda (*a* C *i*) connessa ad una forcina (F) *a scappamento* (come dicono gli oriolai) in maniera, che quante volte l'àncora batte sull'elettromagnete, altrettante lo scappamento (F) batta sui denti obliqui di una rota (G), fatta come quella che i medesimi chiamano *serpentina*; certamente questa farà un passo, e spingerà innanzi un suo dente ad ogni battuta dell'àncora e della forcina. Poniamo

Fig. 204.

terreno uno dei due reofori di un apparecchio elettromotore, e conducendo l'altro isolatamente fino ad un altro pae-

inoltre che all'asse della serpentina sia saldato (fig.205.) un indice girevole sopra un *quadrante* o mostra fissa; sulla quale, incontro a ciascun dente della serpentina, sieno impresse in ordine le lettere dell' alfabeto, le prime dieci cifre dei numeri, ed altri segni; ognun vede che ogni qual volta la serpentina fa un passo, ossia spinge innanzi un dente, l' indice, che si muove con essa, andrà a collocarsi sopra una diversa lettera del quadrante. Per la qual cosa, se il nostro corrispon-

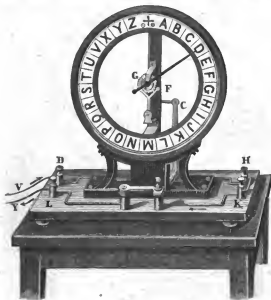



Fig. 205.

dente avrà la diligenza di tener sempre (quando questo strumento, che dicesi *il ricevitore*, non agisce) l' indice sul segno finale ✝, frapposto tra la Z e l' A, sarà in nostro potere far fermare l' indice medesimo su quella lettera che ci piacerà indicargli. Basterà a ciò che noi produciamo nel reoforo, che dal nostro apparecchio elettromotore va all' elettromagnete *del ricevitore* e poi si profonda nel suolo; produciamo, dico, nel reoforo tanti congiungimenti ed interruzioni, quante sono le lettere, sulle quali deve passare l' indice per collocarsi sopra quella, su cui vogliamo che si fermi. Affinchè per altro questa operazione riesca più comoda e sicura, è utile possedere un consimile apparecchio chiamato il *manipolatore*, o il *trasmettitore* (fig.206.);

Digitized by Google

se; se colà, prima di essere profondato nel suolo, passi più volte sotto un ago calamitato mobile, o intorno ad un ferro

il quale differisce dal ricevitore per più capi. Primieramente in luogo dell' indice à un manubrio (P), atto ad essere traslocato successivamente su ciascuna lettera del sottoposto quadrante. Secondariamente al posto della serpentina avvi una ruota (R) munita di tanti denti, quanti sono quelli della serpentina, ed i segni del quadrante. Questa ruota è racchiusa fra due mollette metalliche verticali (M,N) comunicanti coi due capi (A,O) dell' interruzione del filo reoforo (AOUVDHKLY). Poichè una (N) di

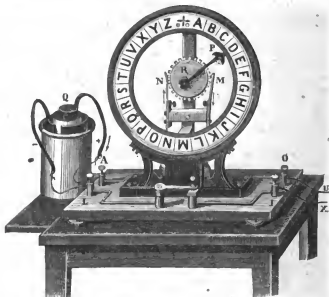



Fig. 206.

queste due mollette preme sui denti della ruota, e l'altra (M) è munita di un piccolo risalto, che viene toccato solamente quando vi passa davanti un dente della ruota medesima; così l'ufficio di questa ruota è di far passare ed interrompere la corrente tante volte quanti sono i denti, che passano sotto al detto risalto (M), o i segni, sui quali trapassa il manubrio (P). In terzo luogo il *manipolatore* non à bisogno di elettromagnete, ma ad esso è annesso l' apparecchio elettromotore (Q). Ciò posto, è chiaro che, se volessimo scrivere la parola AMOR, dovremmo principiare dal trasportare il manubrio (P) dal segno finale ✢ sull'A, e fermarci alquanto. Allora saremmo sicuri che è passata la corrente per

Digitized by Google

dolce, coll'interrompere, o ristabilire il circuito nella prima stazione, dovranno aversi nella seconda una serie di determinate deviazioni nell'ago calamitato, o di numerati colpi di un'àncora sull'elettromagnete. È facile intendere che in tali deviazioni i colpi, nel loro numero e qualità, possono per convenzione rappresentare le lettere dell'alfabeto, e nel loro insieme le parole di un discorso.

5° Le attrazioni e ripulsioni dei solenoidi fra di loro si spiegano colla legge degli effetti dinamici delle correnti. Infatti collocando uno a fianco dell'altro due solenoidi in guisa, che i loro assi rimangano paralleli e i poli omonimi

l'elettromagnete del *ricevitore*, l'àncora à battuto una volta, e l'indice è passato sull'A. Poi dovremmo fare scorrere il manubrio del *manipolatore* su tutte le lettere successive, e far sosta sulla M: con che l'elettromagnete si sarebbe calamitato 12 volte; quindi l'ancora avrebbe battuto 12 volte, e l'indice sarebbe scorso sopra 12 lettere, e si sarebbe fermato sulla M del *ricevitore*. Dopo ciò avremmo dovuto trasferire il manubrio medesimo sull'O, affinchè l'indice scorresse sulla lettera stessa: e finalmente lo stesso manubrio (P) si sarebbe dovuto portare e trattenere un momento sulla R, e quindi posarlo sul segno finale +: e con ciò anche l'indice avrebbe dovuto soffermarsi sulla R, e ritornare sul segno finale. Di che se il nostro corrispondente avrà notato le lettere, sulle quali l'indice si è trattenuto alquanto, troverà scritta la parola AMOR. E questo è il *telegrafo a quadrante*.

Il cui *manipolatore* può anche esser fatto a tastiera, simile a quella di un gravicembalo. Ognuno dei tasti (o lunghi, o corti come quelli dei *diesis*) rappresenta una lettera, e coll'abbassarlo permette ad una ruota (spinta da un movimento di orologieria) di girare e trasportarsi di tanti denti, di quanti numeri dista la lettera, che si vuole indicare. Telegrafo che chiamasi *a tastiera*, o *a quadrante di Froment*. Vi è anche un altro telegrafo a tastiera, il quale à il pregio di stampare le lettere sopra una striscia di carta. Esso è stato inventato da Hughes, da cui prende il nome; ed è tanto complicato, che ne riesce difficilissima la spiegazione, e laboriosissima non che ad un tempo delicatissima la costruzione artistica. Sullo stesso principio sono fondati i telegrafi *a segnali*; nei quali due aste, col deviare intorno ad una circonferenza di 45° in 45 gradi, rappresentano gli antichi segnali dei telegrafi aerei di Chappe. Tali deviazioni sono ottenute per mezzo di un motore da orologio, che dall'azione di un elettromotore è lasciato libero ad agire e a produrre (col girare di una ruota) uno o più salti dell'asta da uno in altro successivo semiquadrante.

III. Diconsi telegrafi ad *impressione* e *scriventi* quelli, che lasciano una traccia stabile dei segnali trasmessi. Fra i quali il più usitato è

Digitized by Google

restino nella stessa parte, in quella cioè dove li chiama la loro virtù direttiva; le porzioni inferiori delle correnti, nei singoli circoli dell' elica, andranno da est ad ovest. Per la qual cosa le porzioni delle correnti stesse, esistenti sui fianchi prossimi dei solenoidi, ossia quelle porzioni di corrente che restano a faccia a faccia, saranno ascendenti in un solenoide e discendenti nell'altro; e quindi dovrà esservi ripulsione. Che se il polo nort di un solenoide rimanga in

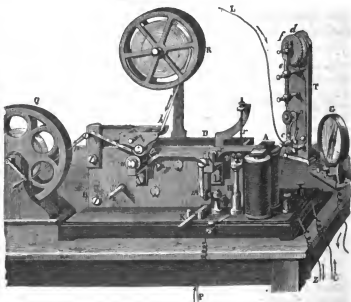



Fig. 207.

quello di Morse. Il *ricevitore* è costituito principalmente (fig.207.) da un elettromagnete (E), la cui àncora (A) è annessa ad una coda a leva, e questa termina in una punta (*o*). Sopra la punta, quando si toglie il freno ad un movimento d'orologeria (Q), si svolge una striscia di carta (*poh*), che trovasi ravvolta intorno ad un tamburo (R). Ond'è che, quando si stabilisce la comunicazione fra i due capi del filo reoforo, il quale dal *manipolatore* va al *ricevitore*, l'àncora (A) batte sul sottoposto elettromagnete, e la sua punta percuote la carta. E poichè tale comunicazione può essere, a piacere del telegrafista, o istantanea o alquanto prolungata; così nel primo caso la punta imprime sulla carta un punto a incavo, nel secondo vi lascia un solco. Ora si è fatta la convenzione

Digitized by Google

faccia al sud dell'altro (fig. 200.), le correnti prossime saranno dirette; e perciò dovrà succedere attrazione.

6° Tutte le virtù delle calamite possono spiegarsi, secondo la ipotesi imaginata da Ampère, colle leggi delle attrazioni e ripulsioni delle correnti elettriche. 1. La virtù direttiva si spiega nella seguente maniera. La Terra, dovendo essere una gran calamita, sarà percorsa da correnti elettriche. E poichè l'equilibrio di un solenoide esige, che le sue correnti inferiori vadano da est ad ovest; però nelle calamite, come pure nella Terra, dovranno scorrere nel senso stesso. Così la virtù direttiva discenderebbe dall'azione dinamica delle correnti; la quale non permetterebbe, che si ritrovassero in presenza

che un punto ed una lineola (.—) rappresenti *a*. una lineola e tre puntini (—...) indichi *b*, lineola e punto lineola e punto (—.—.) significhi *c*, e così via dicendo, secondo la tavola seguente.

ALFABETO DI MORSE.			
a .—	i ..	r .—.	1 .————
ä .—.—	j .———	s ...	2 ..———
b —...	k —.—	t —	3 ...——
c —.—.	l .—..	u ..—	4 ....—
d —..	m ——	ü ..——	5 .....
e ..	n —.	v ...—	6 —....
è ..—..	o ———	w .——	7 ——...
f ..—.	ö ———.	x —..—	8 ———..
g ——.	p .——.	y —.——	9 ————.
h	q ——.—	z ——..	0 —————

Per la qual cosa, producendo sulla carta questi segnali a incavo, e separandoli con uno spazio intatto; dal loro insieme si avranno le parole, e gli interi dispacci.

Qui per altro si avverta che la corrente, la quale scorre pel filo telegrafico, quando à percorso un dieci kilometri è talmente snervata, che non può più comunicare all'elettromagnete una forza sufficiente per imprimere i detti segnali. Ond'è che si suole ricorrere ad una seconda corrente, la quale si eccita alla stazione stessa del corrispondente, ed è chiamata *locale* per distinguerla da quella che va da un paese all'altro, e dicesi *della linea*. Quest'ultima non à altro ufficio che di far chiudere il circùito della prima, ed è la locale quella che imprime sulla carta i segni telegrafici. Il perchè diviene indispensabile l'uso di un altro

Digitized by Google

correnti *ad angolo*, oppure *parallele*, ma *inverse*. II. Quanto poi alla virtù comunicativa, questa si spiegherebbe col supporre, che nelle sostanze atte ad essere magnetizzate esistessero già naturalmente correnti elettriche circolanti *in ogni senso* intorno a ciascuna molecula, ma capaci di cangiar direzione, e tanto più facili a tal cangiamento, quanto la sostanza (intorno a cui s'aggirano) à minor forza coercitiva. Per lo che le correnti dell'acciaio non magnetizzato, o del ferro dolce lontano da qualsivoglia calamita, sarebbero inette a produrre verun effetto sensibile sulle sostanze magnetiche,

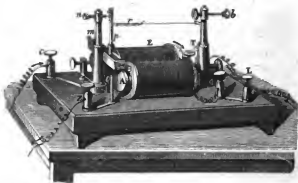



Fig. 208.

attrezzo (fig. 208.) chiamato il *ricambio*, e con linguaggio barbaro il *relè*; termine preso da quello che i francesi danno ai cavalli freschi (*chevaux de relais*), che vengono sostituiti per continuare il viaggio a maggior distanza. Dacchè la corrente (LT) *della linea*, prodotta da 25 elementi alla Daniel, è sufficiente a magnetizzare, anche alla distanza di 160 chilometri, l'elettromagnete (E) del *ricambio*, e chindere quindi (spingendo la coda (*p*) dell'àncora (A) contro il bottone (*n*) assai prossimo) il circuito della corrente locale (*cmnpoZ*). E questa, sebbene eccitata da soli 4, o 5 elementi (non dovendo percorrere che un brevissimo spazio) à la forza per muovere (fig.207.) la leva (A*o*), che imprime sulla carta (*poh*) i segnali.

Finalmente il *manipolatore* è molto semplice. Consiste esso (fig.209.) in una leva metallica (*ab*), mobile intorno ad un asse orizzontale mediano (*m*), e capace di appoggiarsi alternamente colle sue estremità or

per mancanza di cospirazione. Ma le correnti del ferro dolce, appena si ritrovano in presenza di quelle di una calamita o di un solenoide, all'istante divengono tutte parallele fra loro, e quindi cospiranti ed efficaci. L'acciaio invece, essendo percorso da correnti restie a cangiare direzione, à bisogno di essere più volte strisciato su di una calamita, o di restare lungo tempo esposto all'azione magnetica della Terra, o di trovarsi sotto la forza di un potente solenoide: ma in ogni caso anche in esso si ottiene il parallelismo, e la conseguente cospirazione delle forze. III. In ultimo la virtù attrattiva e ripulsiva delle calamite, esercitandosi sempre (**40**. III. 5°) fra ca-

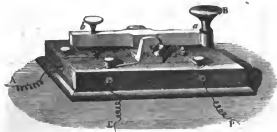



Fig. 209.

sull' uno (x), ora sull'altro di due bottoni metallici, il primo dei quali (x) comunica col filo (P) della batteria locale, ed il secondo col filo (A) del *ricevitore*. Questo istrumento chiamasi *tasto*. Esso comunemente sta sollevato dal bottone (x), che comunica colla batteria locale; e però permette il ricevimento dei dispacci: dacchè allora la corrente della linea (L) sale per l' asse (m) del tasto, e va (per A) al *ricevitore*. Ma quando si vuole trasmettere i segnali, si preme sul manubrio (B) del tasto, o per un istante, a produrre un punto, o per un piccolo tempo, ad imprimere una lineola: e allora la corrente (P) per l'asse (m) della leva si getta nel filo della linea (L), e va per esso alla stazione, a cui è indirizzato il dispaccio.

IV. Fra i telegrafi *elettrochimici* merita particolar menzione quello di Bain. Gira sul suo piano un disco metallico, su cui è applicata una carta imbevuta con soluzione di cianuro di potassio. Uno stilo d'acciaio, appoggiato sulla carta, è portato da un braccio a vite, che s' allunga a poco a poco per mezzo del motore del disco; e così, salendo dalla circonferenza al centro del disco, descrive su questo (che gira in tondo) una spirale piana. Ora lo stilo è in comunicazione col polo +°, ed il

lamite, o stabili o passeggere per influsso, si riduce all' attrazione fra le correnti dirette, ed alla ripulsione fra le inverse.

7° Ammessa questa spiegazione, tutte le virtù delle calamite si riducono in fine a sole attrazioni e ripulsioni. Imperocchè o queste si esercitano fra le correnti della Terra e quelle delle calamite, e se ne ànno gli effetti della virtù *direttiva;* o ànno luogo fra le correnti di una calamita e quelle rivolte in tutti i sensi di un ferro dolce o dell'acciaio, per renderle consentanee e cospiranti, e si appalesano gli effetti della virtù *induttiva* o della virtù *comunicativa* ; op-

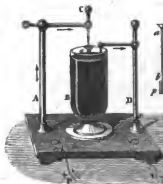



Fig. 210. Fig. 211.

disco col —° di un apparecchio elettromotore. Quindi, allorchè la corrente è stabilita, e trapassa per la carta umida, il sale vien decomposto; il cianogene si reca sullo stilo, si combina col ferro, e dà origine al lorchino di prussia; il quale produce sulla carta dei punti o delle trattine secondo la durata della corrente. Relativamente al *manipolatore*, Bain prende un nastro di carta, vi scrive il dispaccio a tratti e puntini impressi a giorno, e lo fa passare sopra un cilindro metallico girante, che communica con uno dei poli della pila. Una punta smussata, comunicante coll' altro polo, s' appoggia sul cilindro, e ne rimane separata per la carta. Ma, quando un punto od una trattina passa sotto la punta, il circuito è chiuso. Questo telegrafo à ricevuto ultimamente dei perfezionamenti. I telegrafi elettrochimici ànno condotto all' invenzione dei telegrafi *autografici*. Così chiamansi quelli, che riproducono un esemplare del tutto simile di una scrittura o di un disegno qualunque. Fra i quali descriveremo brevemente quello del celebre Abate Caselli di Fi-

pure finalmente l'attrazione e la ripulsione si esercita dalle correnti di una calamita dirette o inverse, vuoi con quelle di un ferro dolce rese poco prima consentanee per influsso, vuoi con quelle già stabilite di un'altra calamita; e si avranno gli effetti della virtù *attrattiva e ripulsiva*.

8° Colla teorica or ora esposta si spiegano varii fenomeni, e fra gli altri le rotazioni delle calamite per l'azione delle correnti elettriche. Un largo vaso di vetro (fig.210, e 211.) è pieno quasi d'idrargiro, ed in questo pesca verticalmente un' asta calamitata (*ab*), la cui estremità inferiore è resa più pesante con un pezzo di platino (*p*), e la superiore porta un vasellettino di rame con mercurio. Prima si mette la calamita in mezzo al bicchiere (fig.210.), e s'introduce nel mercurio del suo vasellettino (*a*) la punta (C), per cui entra la corrente; ed al fianco del vaso s'immerge un'altra punta, destinata a darle esito per mezzo di una colonnetta (D) metallica. Appena è stabilito il circuito, la calamita si mette a girare intorno al suo asse. E la ragione è chiara. Quando l'elettrico passa dalla calamita al mercurio, si divide sulla superficie di questesso in una infinità di correnti rettilinee, dirette dall'asse della calamita alla periferia del vaso: or queste debbono agire sulle correnti della calamita, come (**60.** III.) una corrente rettilinea opera sulle correnti circolari; e però come quella fa girare l'anello, così queste debbono far girare la calamita. Si può anche imprimere a questa un moto di rivoluzione intorno al vase, mettendola (fig.211.) fra le due punte (G ed E), per le quali entra ed esce la corrente; e la spiegazione è la medesima. All'incontro si può far girare per la stessa ragione la corrente per l'azione di una forte calamita.

renze. Esso componesi principalmente di due pendoli stabiliti alle due stazioni, e però alle due estremità del filo telegrafico, e dotati (per un meccanismo da orologio) di un moto perfettamente sincrono. Ognuno di questi pendoli, in ciascuna oscillazione, fa percorrere una linea retta orizzontale ad uno stilo comunicante col filo telegrafico, e gli imprime un piccolo moto verticale, pel quale lo fa avanzare ogni volta di una quantità uguale alla spessezza della sua punta. Sotto allo stilo di ciascun pendolo si colloca un foglio di carta; il quale, com'è manifesto, dopo un certo numero di oscillazioni, sarà stato percorso in tutta la sua superfi-

62. Conducibilità elettrica, intensità, e velocità della corrente. — Passeremo ora a trattare delle leggi, alle quali è sottomessa la propagazione delle correnti.

I. LEGGI. 1ª *La conducibilità dei metalli è varia, e diminuisce colla temperatura, specialmente nei più fusibili.* Ridotti i metalli a fili dello stesso diametro e lunghezza, e fatti successivamente comunicare con uno stesso apparecchio elettromotore a forza costante, si osservino le deviazioni, che la corrente produce nell'ago di un galvanometro introdotto nel circùito. Così facendo si trova chè, principiando dall'argento, che è ottimo fra i conduttori, e giungendo fino al bismuto, che è il pessimo, la conducibilità loro varia nell'ordine seguente: argento, rame, oro, cadmio, zinco, ottone, stagno, ferro, antimonio, piombo, platino, mercurio, bismuto. Si vede ancora che la conducibilità dell'argento, ove da 0° passi a 100°, ed a 200 gradi di temperatura, diminuisce di un quarto, e di metà; quando invece quella del platino ri-

cie dallo stilo; in guisa che, se questo fosse una matita, la carta si troverebbe segnata da tante linee orizzontali talmente vicine fra loro da sembrare a contatto; anzi, in virtù del sincronismo dei due pendoli, una stessa linea è percorsa (malgrado la distanza) nel tempo stesso sui due fogli. Ora il foglio del *manipolatore* è ricoperto di uno strato metallico; ed è su questo strato, che è stato tracciato il dispaccio o il disegno con inchiostro ordinario. Invece il foglio del *ricevitore* è stato preventivamente bagnato con una soluzione di cianuro di potassio; a cui si aggiungono 30 altre parti d'azotato di ammoniaca, destinato ad attirare l'umidità dell'aria. Or bene: lo stilo del *manipolatore*, strisciando sulla carta metallica, incontra un gran numero di volte nel breve spazio di una oscillazione ora la superficie metallica, ora la superficie isolante costituita dall'inchiostro. Quando tocca la superficie metallica, essendo questa superficie in comunicazione col suolo, l'elettricità si perde, e verun fenomeno apparente succede nel *ricevitore*. Ma appena lo stilo passa sulla parte scritta, per sottile che sia lo strato della scrittura, si opera l'isolamento, e la corrente elettrica passa pel filo telegrafico fino al *ricevitore*; e questo filo toccando la carta preparata, vi determina l'apparizione di un segno colorito rispondente alla superficie scritta, su cui passa lo stilo del *manipolatore*. Così in ogni oscillazione si verifica un gran numero di trasmissioni e di interruzioni della corrente. E siccome per ognuna di esse riproducesi il fenomeno sopra una linea diversa; quindi è che dopo un certo numero di oscillazioni, lo stilo del *manipolatore*, essendo passato su tutta la superficie scritta, il dispaccio si ritroverà integralmente riprodotto sulla carta del *ricevitore*.

mane quasi costante. Invece al carbone, nelle cui varie specie ritrovansi tutti i gradi di conducibililà (dal diamante, che è coibente, fino al coke, che è buon conduttore), il riscaldamento conferisce stabilmente una più grande conducibilità.

2ª *La conducibilità dei liquidi è inferiore dassai a quella dei metalli, cresce colla temperatura, ed è maggiore negli acidi, e nelle soluzioni saline.* Questa legge è stata determinata empiendo di diversi liquidi dei cannelli di vetro della medesima lunghezza e diametro, ed introducendoli successivamente in uno stesso circùito.

3ª *L' elettrico tende a diffondersi per tutta l' estensione del conduttore.* Inframettete nel circùito elettrico una lamina metallica assai larga, e portate su di essa un ago calamitato sospeso a pendolo. Vedrete che questo soffre la deviazione stessa su tutte le parti della lamina.

4ª *La resistenza opposta alla corrente da un conduttore omogeneo è in ragione diretta della sua lunghezza.* Il che risulta da un gran numero di esperimenti.

5ª *Due o più correnti possono procedere indipendentemente sul conduttore medesimo.* Imperocchè facendo passare a traverso di uno stesso conduttore più correnti, l' intensità di ciascuna rimane la stessa, e la trasmissione si opera, come se il conduttore fosse trapassato da ciascuna isolatamente.

6ª *L' intensità di una corrente diminuisce, quando da un conduttore solido passa in un liquido, o viceversa.* Infatti poniamo che il vase isolante, in cui è contenuto il conduttore liquido, venga diviso in due o più scompartimenti per mezzo di lamine metalliche. Sebbene queste conducano meglio assai degli strati liquidi, l'intensità della corrente diminuisce.

7ª *Se a due punti qualunque di un circùito, percorso dalla corrente, si congiungono gli estremi di un filo metallico, la corrente nei detti punti si biforca, e l' intensità di quella che scorre pel filo aggiunto è sempre proporzionale alla primiera.* Si prova annettendo gli estremi del filo del galvanometro a due dati punti del circùito, e gettando su questo delle correnti di varia, ma nota intensità.

8ª *Tutte le sezioni trasversali di un medesimo circùito, compresa anche la pila, sono percorse nel tempo stesso dalla*

Digitized by Google

stessa quantità di elettrico, qualunque ne sia la natura, la forma, e la estensione. Dappoichè, se i due estremi del filo del galvanometro vengono posti in comunicazione con due punti qualunque (ma sempre ugualmente distanti fra loro) di un circùito conduttore dove più grosso, e dove meno, dove di una sostanza, e dove di un' altra; dove rettilineo e dove curvo; l' ago accusa sempre la deviazione medesima. Ond' è che la natura, la estensione, e la forma del conduttore, che tanto influiscono sulla intensità assoluta, non alterano l' intensità relativa delle diverse parti di un circùito.

9ª *I coibenti sono unicamente cattivi conduttori.* Perciocchè un cilindro di cera lacca, tenuto per alquanti minuti a contatto col conduttore positivo della macchina, e poi strisciato sulla lana, prima si mostra negativo, e quindi dà segni di quella elettricità positiva, che avea ricevuta dalla macchina, e la quale si era lentamente internata nella sua massa.

10ª *L' elettricità —ª si propaga meglio della +ª così sulla superficie, come nell' interno dei cattivi conduttori.* Dappoichè una sfera metallica, caricata di una certa dose di elettrico —ª, e messa a contatto con un cattivo conduttore, perde il doppio di quella elettricità, cui perderebbe nel tempo stesso, se fosse stata caricata di un' ugual dose di +ª.

11ª *La propagazione dell' elettrico pei cattivi conduttori è promossa dall' elevazione di temperatura.* Mercecchè è stato sperimentato che la resina, la cera, il vetro, e varii altri corpi, quando sieno col calore rammolliti, conducono abbastanza bene l' elettrico; quando poi sieno liquefatti, divengono assolutamente buoni conduttori.

12ª *La velocità di propagazione della corrente è varia per reofori di diversa natura.* Per esempio la relazione fra tale velocità in due reofori uno di rame, ed uno di ferro, a parità di condizioni in tutto il resto, è come 9: 5.

13ª *La detta velocità non cangia col variare il numero degli elementi elettromotori.*

14ª *La medesima è indipendente dalla sezione trasversale dei reofori.*

15ª *La presenza di un conduttore disposto parallelamente al reoforo, ma isolato da questo, diminuisce dassai la velocità*

della corrente. Infatti questa talora è stata trovata (**54.** III. 4°) assai maggiore di quella della luce; ma nei fili telegrafici si è verificata ora 20, ora 50, ed ora 100 volte minore. Basti dire, che nei fili dei telegrafi sottomarini o sotterranei spesso impiega fino un secondo a chilometro.

II. COROLLARII. 1° Dunque l'intensità della corrente dev'essere tanto maggiore, quanto è minore la sezione trasversale del conduttore. Infatti appena è dimostrata la legge 3ª che cioè l'elettricità dinamica non si porta alla sola superficie, ma si distribuisce uniformemente su tutta l'estensione del conduttore omogeneo, già è manifesto che la intensità deve crescere di tanto, di quanto s'impiccolisce la sezione trasversale del reoforo. Corollario che spiega perchè questo nelle sue parti più ristrette attragga più limatura di ferro, e maggiormente si riscaldi.

2° Dunque l'intensità assoluta della corrente è proporzionale direttamente alla somma delle forze elettromotrici, ed inversamente alla somma delle resistenze. Dacchè dalla legge 8ª discende che tale intensità dipende unicamente dalla forza elettromotrice, e da tutte le resistenze alla conducibilità, le quali ritrovansi nel circùito medesimo.

3° Dunque [1], se cresce o diminuisce la resistenza in una

[1] Chiamando F la intensità, E la somma delle forze elettromotrici disposte in uno stesso circùito, ed R tutte le resistenze esistenti nel medesimo, dal corollario antecedente avremo $F = E : R$. E questa è la formola rappresentante la legge fondamentale di Ohm sull'intensità della corrente.

Dalla quale può inferirsene immediatamente un'altra. Dacchè, se R diventi $R + r$, oppure $R - r$, certamente F diverrà uguale ad $E : (R + r)$, oppure ad $E : (R - r)$. Esprimasi ora per F' l'intensità del primo caso, e per F'' quella del secondo, la legge di Ohm ci dà il diritto di stabilire le seguenti proporzioni $F : F' :: \frac{E}{R} : \frac{E}{R+r} :: \frac{1}{R} : \frac{1}{R+r} :: (R+r) : R$; ed $F : F'' :: \frac{E}{R} : \frac{E}{R-r} :: (R-r) : R$. Per la qual cosa sussisteranno eziandio queste altre due $F - F' : F :: (R + r - R) : (R + r) :: r : (R + r)$, ed $F'' - F : F :: (R - R + r) : (R - r) :: r : (R - r)$. Il che significa che la diminuzione $F - F'$, o l'aumento $F'' - F$ d'intensità sta all'intensità primiera F, come la resistenza aggiunta o sottratta r sta alla nuova resistenza totale $R + r$, od $R - r$.

parte qualunque di un circùito, l'intensità totale della corrente medesima decresce nel rapporto stesso, che passa fra la resistenza aggiunta o tolta, e la nuova resistenza totale dell' intero circùito.

4° Dunque quanto è più grande la resistenza in una parte del circùito, tanto è più piccola la diminuzione d' intensità dovuta alla resistenza delle altre parti. Infatti, poichè la resistenza *interna* delle pile cresce dassai col numero degli elementi, così l' intensità della corrente prodotta da molti elementi poco diminuisce per una resistenza esteriore assai grande.

III. SCOLII. 1° La legge 10ª ci dà un inizio di spiegazione del fatto già (**51**. III. 2°) accennato, che cioè la polvere elettricamente +ª, attratta dalle parti —ª di un mastice, si dispone a contorni lineari ed uniformi; invece la —ª, che si getta su quelle +ª, termina irregolarmente e frastagliatamente. Il che forse avviene perchè l' elettricità —ª, trovando resistenza minore, si diffonde ugualmente tutto intorno a ciascun punto elettrizzato; quando invece la +ª, nell'incontrare una maggiore opposizione, si mantiene più riunita, e non si spande che in filetti sottili e disuguali.

2° La immensa varietà che si riscontra nella velocità della corrente elettrica, secondo che essa scorre per fili telegrafici o campati in aria, o tuffati in acqua, o sepolti nel suolo (I. 14°), sembra doversi ascrivere alla induzione, che in certi casi è inevitabile. Infatti i fili sottomarini, o sotterranei, essendo ricoperti di gutta perka, rappresentano l' armatura interna di una bottiglia leidense, la cui armatura esterna è costituita dall' acqua o dal terreno umido. Ora in un filo di simil fatta la corrente non può essere trasmessa, se non dopo che esso à raggiunto una tensione (sotto un certo riguardo) *indifferente* (**51**. II. 9ª), uguale a quella della pila. Dacchè l'elettricità influita nell'armatura esterna *imprigiona* (**53**. II. 1ª) un' uguale porzione di elettricità nell' interna, e ne rende (sotto lo stesso riguardo) *parziale* la tensione (**51**. II. 9ª).

3° La legge 4ª può dimostrarsi per mezzo di un apparecchio detto *reòstata*. Il quale (fig. 212.) si compone di due cilindri paralleli, uno (A) di metallo, l' altro (B) di legno. Quest' ultimo è solcato in tutta la sua lunghezza a forma di

elice o di vite, e porta in un suo estremo (H) un anello di metallo; a cui è fissato il capo di un filo di rame lungo 40 metri, che s'avvolge in parte sui solchi del cilindro di legno, passa col resto su quello di metallo, e termina all'estremità alterna (K). Due viti di pressione (P, N) comunicano con due mollette, l'una col cilindro metallico (A), l'altra coll'anello (H) del cilindro di legno. Or bene: la corrente (entrando per P ed H) percorre tutta la porzione di filo incastrato nei solchi del cilindro di legno; e poi, giungendo sul cilindro metallico, scorre su questo longitudinalmente, e va all'altra molletta (N). Quando si vuole allungare il circùito, si volge sinistrorso il manubrio (M) del cilindro di legno; se all'incontro si vuole abbreviare, si annette il manubrio (M) sull'asse (C) del cilindro di metallo, e girando destrorso s'involge su questo dell'altro filo. Supponendo dimostrata la legge, che l'intensità della corrente è in ragione inversa della lunghezza del filo, per cui scorre; si può (con

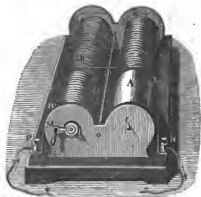



Fig. 212.

questo apparecchio) dalla lunghezza varia, che deve darsi al filo, per ottenerne una determinata deviazione, inferire l'intensità di una corrente data. La lunghezza poi del filo è misurata da certi indici, che sono messi in moto dai cilindri sull'estremità opposta a quella, ove ritrovasi il manubrio.

4° Siccome nel galvanometro le deviazioni sono proporzionali all'intensità della corrente fino a 20° solamente; e quindi per le deviazioni maggiori è necessario avere in pronto una tavola fatta espressamente; così per la misura delle correnti più intense suole piuttosto adoperarsi l'apparecchio nominato *bussola dei seni.* Al centro (fig. 214.) di un cerchio orizzontale graduato (B) ritrovasi un ago calamitato (I); un

secondo ago (K) di rame, fissato al primo, serve a determinare il grado segnato dall'ago calamitato (I); e sopra un cerchio verticale di rame (M), pel cui centro passa la bussola, viene ravvolto il filo di rame percorso dalla corrente. Tutto questo sistema è retto da un piede (O), che può girare unitamente ad un nonio (C) intorno ad un asse verticale, passante pel centro di un altro circolo fisso e graduato (H). Prima si colloca nel piano del meridiano magnetico il circolo verticale, e poi si fa passare la corrente: quindi l'ago devia. Allora si gira il circùito (M), fino a che trapassi pel piano verticale determinato dall'ago calamitato. A questo modo si ottiene che l'azione direttrice della corrente s'eserciti perpendicolarmente alla direzione dell'ago, ed il calcolo [1] dimostra che *l'intensità della corrente è proporzionale al seno dell'angolo di deviazione dell'ago calamitato.* Angolo, che viene misurato dal nonio.

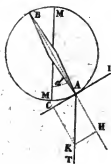



Fig. 213.

IV. DEFINIZIONI. 1ª La diminuzione di intensità della corrente, nel passaggio di questa da un conduttore solido ad un liquido, dicesi *resistenza al passaggio.*

2ª L'influenza, che la corrente esercita sopra un conduttore, che le corre parallelo, è chiamata *induzione laterale.*

3ª La corrente che scorre pel filo reoforo aggiunto al circùito elettrico si denomina *derivata*; ed il filo, per cui scorre, dicesi *filo di derivazione.*

4ª Quella porzione del filo, che è percorsa dalla corrente donde si stacca la derivata, suol nominarsi *circùito principale*; e l'altra porzione del filo stesso, interposta fra i due capi del filo di derivazione, si chiama *intervallo di derivazione.*

1 Sia MM' (fig.213.) l'intersezione dell'orizzonte col piano del meridiano magnetico, *d* l'angolo di deviazione, *I* l'intensità della corrente, e *T* la forza direttrice della Terra. Se si rappresenta per AK la direzione e l'intensità di *T*, questa potrà decomporsi nelle due AH, ed AC; delle quali la sola AC fa equilibrio alla forza *I*, ossia $I = AC$. Ma $AC = AK. \cos. CAK = T. \text{sen}. d$. Dunque $I : \text{sen}. d = T$.

Digitized by Google

63. Avvertimento apologetico. — L'esposizione delle più maravigliose scoperte fisiche a quelli, che, non sapendo oramai più conformare le loro azioni colla morale cattolica, pretenderebbero che questa alle esigenze delle loro passioni si accomodasse, porge mai sempre il destro di lanciare qualche frizzo contro la Chiesa; la quale à ricevuto la salutare (sebbene spesso troppo odiosa) missione di determinare e condannare le cose illecite. E di fatto accade sovente, che la narrazione delle maraviglie della corrente elettrica, e segnatamente del telegrafo, venga interrotta dalla esclamazione: — A fè che, se nel secolo scorso fosse stata fatta sì prodigiosa invenzione, l'autore ne sarebbe stato dannato per fattucchiero od invasato! — Il che udendo io una volta, mi credei in debito di ricacciare in gola allo sputasenno la marchiana gagliofferia — Adunque, gli diss'io freddamente, se Caselli in Italia avesse inventato il suo telegrafo *autografico* un secol fa, cioè prima che Wheatstone in Inghilterra avesse ideato il suo a *quadrante*, prima che Breguet a Parigi avesse fatto agire quello a *segnali*, prima che Ampère ivi stesso avesse ritrovato *l' elettromagnete*, prima che Oersted in Danimarca avesse osservato *la deviazione dell' ago magnetico*, prima che Volta a Pavia avesse ottenuto *la corrente elettrica*, prima che Galvani a Bologna avesse veduto *le con-*

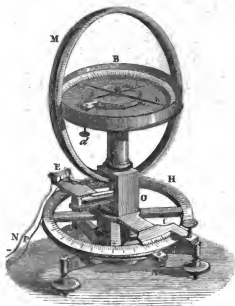



Fig. 214.

trazioni della rana; voi, Messere mio bello, vi sareste mostrato così soro nella storia della scienza da riporre la scoperta nella classe delle invenzioni scientifiche? Io invece voglio credere, per vostro onore, che quando voi questo Signor Abate Caselli non lo aveste potuto venerare per taumaturgo, lo avreste avuto in conto, a dir poco, di saltimbanco. Che se la scoperta, di che parliamo, fosse stata fatta cento anni fa non per sorpresa, ma dopo essere stata preceduta da tutte quelle che essa presuppone; voi vi dareste a divedere completamente sfornito di quella ecclesiastica erudizione, di cui dev' essere ricchissimo chi vuol parlare di tali cose, ed arrogarsi una certa *scienza media*, se dubitaste, che la Chiesa avrebbe fatto allora nè più nè meno di quello che à fatto adesso e sempre. Dacchè verso gli onesti progressi materiali essa in verun tempo è stata mai così ostilmente ignorante da repudiarli, nè così puerilmente fanatica da levarli al di sopra dei più vitali e veramente necessarii, quali sono i morali e religiosi.

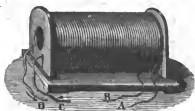



Fig. 215.

ARTICOLO V.

INDUZIONI ELETTRODINAMICHE.

64. Induzione elettrodinamica. — Faraday nel 1831 scoperse che:

I. PROPOSIZIONE. *In un circuito metallico chiuso si eccita una corrente istantanea inversa, quando principia a correre l'elettrico per un prossimo reoforo, ed un' altra pure istantanea ma diretta, quando l' elettricità cessa di correre pel detto reoforo.*

Dimostrazione. I. Abbiansi (fig. 216.) due spirali piane verticali, portate da due piedi mobili in guisa, che si possano agevolmente avvicinare o allontanare a vicenda: le due estre-

mità (H, K) di una di esse sieno tenute una per mano da uno stesso individuo, oppure si uniscano ai capi del filo del galvanometro; e le altre due (P, Q) si facciano comunicare coi poli di un apparecchio elettromotore. Appena si chiude questo secondo circùito, si avverte un flusso istantaneo di elettricità, che corre pel primo in senso inverso a quello della corrente voltiana; se poi s' interrompe la circolazione di questa, subito una commozione dell' individuo manifesta un altro flusso istantaneo di elettrico, il quale (stando alla manifestazione del galvanometro) va nel senso stesso della corrente continua. II. Parimente intorno ad un telarino di legno (fig. 215.) si avvolgano due fili di rame vestiti di seta, uno (A B) più

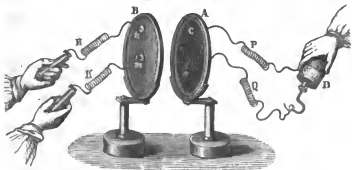



Fig. 216.

fino, ed uno (CD) più grosso; inoltre i due capi (A, B) si mettano in comunicazione col filo del galvanometro; e quindi si faccia entrare, e poi sospendasi la corrente elettrica pel filo più grosso. Prima il reometro accuserà una corrente istantanea inversa, e poi un' altra simile diretta. III. Avviene l' analogo, se pel filo più grosso, o per una delle due spirali (fig. 216.) si faccia scorrere l' elettricità di una bottiglia leidense. IV. Anche in un solenoide percorso dalla corrente si osserva, che all' interrompere di questa ne nasce un rinforzo di intensità; il quale è tanto maggiore quanto il circùito è più lungo, e si rende palese o per la luce che brilla più vivida, o per uno scotimento, che soffre la persona che

comunica colle due estremità del circùito voltaico. Il che vuolsi ascrivere alla corrente, cui ciascuna spira circuìta dall'elettrico eccita nelle vicine. v. Anzi disponendo un certo numero di spirali (fig.217.) in maniera, che in prossimità e parallelamente alla prima (A) se ne ritrovi una seconda (B), e questa comunichi con una terza (C) distante quanto si vuole; a piccola distanza da questa terza ne esista una quarta (D) comunicante con una quinta (M) lontana; e davanti a quest'ultima (M) ne sia collocata una sesta (N), e così via dicendo; col far circolare o sospendere la corrente per la prima (A), si ànno le correnti istantanee, ma sempre più deboli, in tutte le altre spire.

II. DEFINIZIONI. 1ª Il fenomeno delle correnti istantanee, che si eccitano per la sola presenza di un' altra corrente, chiamasi *induzione* o *influenza elettrodinamica*.

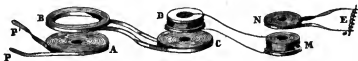



Fig. 217.

2ª La corrente, che produce l' induzione, viene detta *induttrice* o *influitrice*: e quella che ne nasce è detta *indotta* od *influita*.

3ª Quando avvengono più induzioni contemporanee, perchè la corrente indotta è essa pure induttrice, la corrente voltaica dicesi *corrente di primo ordine*; la prima indotta è detta *corrente di second' ordine* o *indotta primaria*; quella indotta da questa à nome *corrente di terz' ordine*, o *indotta secondaria*; e così di sèguito.

4ª Le correnti inverse soglionsi anche denominare *negative*, e *positive* le dirette.

5ª La corrente indotta, eccitata nello stesso circùito induttore, chiamasi *estracorrente*.

6ª Il fatto, che produce l' estracorrente, à nome *induzione riflessa*.

Digitized by Google

III. SCOLII. 1° È da avvertire che, ove si eccettui la corrente indotta primaria, tutte le altre sono sempre inverse, ciascuna rispetto alla sua induttrice: cioè l' indotta secondaria è inversa all' indotta primaria, alla indotta secondaria è inversa l' indotta terziaria, e così via dicendo. Il che suole ascriversi a ciò, che le correnti indotte essendo istantanee, allorchè fanno da induttrici, debbono eccitare le due correnti indotte, una inversa all' altra, quasi nel tempo stesso; e però dee percepirsi solamente quella che prevale sull' altra.

2° Ma anche la corrente indotta primaria è talvolta una sola e diretta. Ciò avviene sempre nella induzione prodotta da una forte scarica leidense. Secondo Marianini le cause, che rallentano la scarica, tendono a dare alla corrente indotta un senso inverso a quello della corrente induttrice; all' opposto la corrente indotta è diretta coll' induttrice, quando il circùito induttore non offre che piccola resistenza, o la tensione è abbastanza forte per vincerla.

Fig. 218.

3° Se s' introduce nell' asse del rocchetto (fig.215.), intorno a cui sono avvolti i due circùiti (induttore ed indotto), una sbarra, o un fascetto di fili di ferro dolce, gli effetti dell'induzione si rinforzano.

4° Affinchè le correnti si succedano senza interruzione, fa duopo chiudere ed aprire successivamente il circùito con una grande rapidità. Al quale effetto sono stati ideati i così detti *disgiungitori* o *reòtomi*, nome tolto da ῥέος *corrente* e τομή *il tagliare*. Uno dei più usitati è il seguente. Nell' interno (fig.218.) del cilindro o rocchetto, su cui è ravvolto il circùito induttore, è collocato un cilindro (C) di ferro dolce, e a qualche distanza da questo è fermato un disco (B) metallico comunicante col capo di uno dei due reofori, chiamato *incudine*. Fra il cilindro (C) e l' incudine (B) ritrovasi un martelletto (A) parimente metallico, tenuto (pel suo peso o da una molletta) appoggiato sull' incudine, ma mobile e capace di oscillare fra questa, ed il cilindro; ed è il braccio di questo martelletto, che comunica coll' altro reoforo ravvolto al rocchetto. Per la qual cosa la corrente dell' incudine (B)

va al martelletto, quindi circola intorno al rocchetto, e torna alla pila. Ma con ciò il cilindro di ferro dolce (C) si magnetizza, attira a sè il martelletto, ed il circùito è aperto. Interrotta così la corrente, il cilindro cessa di essere calamita, ed abbandona il martello; il quale ricadendo sull' incudine richiude il circùito, è di nuovo attratto, e così via discorrendo.

5° È evidente che una delle due correnti indotte, in ciascuna interruzione e ristaurazione della induttrice, essendo inversa all' altra, ne elide i risultati. Onde per ottenerne effetti più energici è necessario sopprimere una delle due correnti indotte successive, oppure farle cangiar direzione. A tale intento si adoperano gli apparecchi chiamati *commutatori*, ed anche *reotropi* da ῥέος e τρέπω *torno indietro*. Uno dei più semplici è quello di Ruhmkorff (fig. 219.). Consiste in un cilindro d' avorio (A), ricoperto in due fianchi opposti da due piastre di ottone (I′, C′), girevole intorno ad un asse introdotto in due sostegni metallici (O, O′), e stretto fra due mollette (IR, CA). I due reofori si uniscono ai sostegni (O, O′) del cilindro, uno dei quali (O) comunica con una (I′) delle piastre di ottone, e l' altro (O′) comunica coll' altra (C′); ed alle due mollette (I, C) si uniscono i due capi del circùito, in cui si vuole invertire la corrente. Ond' è che in una posizione del cilindro la corrente entra per un sostegno (O), va ad una (R) delle due mollette, scorre pel circùito, giunge all' altra molletta (C), e per l'altra piastra (C′) e l'altro sostegno (O′) ritorna all' apparecchio, donde provenne. Girando poi il cilindro di 180°, dal primo sostegno (O) va per la stessa piastra (che si è messa nel fianco opposto) alla seconda molletta (C), scorre il circùito in senso inverso, e per la prima molletta (R) ed il secondo sostegno (O′) ritorna alla pila elettromotrice.

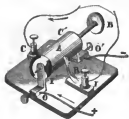



Fig. 219.

6° L' apparecchio, che meglio si presta per mostrare gli effetti statici delle correnti d' induzione, è quello di Ruhmkorff. Il quale (fig. 220.) si compone di un grande rocchetto isolato,

pieno di fili di ferro dolce, e circuito da due fili vestiti di seta, ogni strato dei quali è ben isolato con gommalacca. Uno dei due fili, cioè l'induttore, à un diametro di circa 2 millimetri, e fa 300 giri; l'altro fa un dieci mila giri, ed è grosso un terzo di millimetro. Per farlo funzionare, uno dei due reofori di un elemento alla Bunsen si annette ad un capo del filo grosso, e l'altro reoforo si congiunge all'incudine del reotomo, comunicante per mezzo del martello coll'altro capo del filo grosso medesimo. Per aumentare l'intensità delle correnti indotte, giova far comunicare coll'armature di un condensatore due punti del circuito induttore, presi ai lati del reotomo.

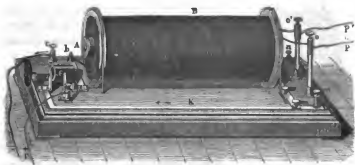



Fig. 220.

7° Quando il circuito indotto dell'apparecchio di Ruhmkorff è chiuso da un buon conduttore, si producono delle correnti indotte di senso contrario, e (come à provato Matteucci) uguali in quantità; ma le correnti dirette durano meno, e perciò ànno maggior tensione. Quando per altro il circuito indotto è interrotto, Poggendorff si è assicurato che le correnti dirette possono passar sole, e le estremità del filo offrono i poli ben caratterizzati.

8° Toccando con un dito il filo indotto, sebbene ricoperto di seta, quando il circuito è chiuso, si riceve una violenta scossa, assai più forte di quella delle correnti voltaiche: poichè queste non producono le scosse, che quando emanano da

apparecchi di molti elementi; ed invece gli scotimenti delle correnti indotte per la corrente di un solo elemento possono essere insopportabili, ed assai dannose. Si noti per altro che la scossa è dovuta principalmente alla corrente diretta, sebbene sul galvanometro operino ugualmente sì la diretta, che la inversa. Dal che parrebbe doversi dedurre che la scossa si debba più all' azione magnetizzante, che a quella deviatrice dell' ago: perchè la corrente inversa sembra inetta per la magnetizzazione. Del resto non è improbabile, che nei fili sottoposti all'induzione, oltre le correnti, si ecciti ancora della elettricità statica: e veramente Masson è giunto a caricarne dei condensatori, e gli effetti del rocchetto di Ruhmkorff sembrano favorire tale idea.

Fig. 221.

9° Becquerel e Fremy, facendo passare una serie di scintille d' induzione fra due fili di platino, per un tubo pieno d' aria, ànno veduto dopo qualche minuto il tubo pieno di vapori rutilanti d' acido iponitrico, nato dalla combinazione dell' ossigene e del nitrogene dell' aria. E poscia mille fatti ànno mostrato la virtù elettrolitica nelle correnti indotte.

10° Aggiungendo alle estremità del filo indotto due grossi fili di rame, i capi dei quali poco distino a vicenda, si ottiene un getto quasi continuo di scintille di un bianco splendentissimo, costituito da un fascio di tre o quattro linee sinuose di fuoco indefessamente agitato. La luce delle correnti indotte à delle particolarità notevolissime. Facendola scoccare in un uovo elettrico (51. I. 10°), la luce del polo +° è più vicace e di un bel rosso infuocato, quella del —° è violacea, e di più si estende lungo l' asta metallica. Che se prima di fare il vuoto nell' uovo elettrico vi

s' introduca del vapore di olio essenziale di trementina, o di acido pirolegnoso, o di acquarzente, o di solfuro di carbonio, od altro simile, la luce apparisce (come dicono) ***stratificata*** (fig.221.), cioè sotto la forma di una serie di zone alternamente luminose ed oscure. Siccome il colore della luce va-

Fig. 222.

ria colla natura del vapore, così è bello vedere (fig.222.) in ciascuno dei tubi così detti *di Geissler*, che sono pieni di vapori diversi, brillare una luce di diverso colore ed offerente con grata simmetria la convessità dei suoi strati verso la parte negativa; intanto che le pareti dei tubi medesimi mandano uno splendore tranquillo, designato col nome di *fluorescenza* [1].

11° La scintilla d' induzione è stata applicata assai utilmente ad accendere i becchi a gasse assai lontani, per i segnali dei porti di mare, e per far esplodere le mine [2].

12° Facciamo che l' uovo elettrico (fig.224.)

Fig. 223.

1 I tubi di Geissler sono stati applicati ad illuminare le fosse nasali, la gola, ed ogni atra cavità del corpo umano; nella quale debbano eseguirsi delle operazioni chirurgiche.

2 Stateham ingegnere inglese à ritrovato di recente, che sopra un filo di rame ricoperto di gutta perka sulfurata si forma uno strato di solfuro di rame sufficientemente conduttore. Il perchè (fig.223.), se in un punto di un circùito di tal fatta si toglie la metà di questo strato, e si taglia un 6 millimetri del filo, una intensa corrente, che venga lanciata nel filo di rame, arrivando all'interruzione si getta sul solfuro, e lo accende. Ond'è che, ove in tal cavità sia stato collocato del cotone fulminante o della polvere da cannone, questi corpi prenderanno fuoco. Quindi il nome di *razzo di Stateham*. Du Moncel à applicato questo razzo ed il rocchetto di Ruhmkorff all'esplosione delle mine nel porto di Cherbourg. Per tal razzo la polvere s' infiamma alla distanza di ben 26 chilometri.

abbia un solo conduttore ($m\,n$) costituito da un'asta di ferro dolce, la cui estremità superiore pervenga fino a metà circa del recipiente; che quest' asta sia ricoperta tutta intorno, ma non nelle estremità, di un centimetro di materia isolante, formato da uno strato di gomma lacca, un tubo di vetro, altro strato uguale, altro tubo, e un terzo strato di cera; che nel fondo del recipiente, l'asta medesima venga racchiusa da un anello di metallo, uscente all' esterno e comunicante per un bottone (c) con un estremo del filo indotto di Ruhmkorff; e che finalmente l'estremità inferiore dell' asta medesima venga fissata sopra un polo di un potente elettromagnete (A B), e comunichi per un altro bottone (o) coll'altro estremo del filo indotto medesimo. Se nel recipiente prima sia stato fatto il vuoto, e poi si sieno introdotte alcune gocce d' etere, o d' essenza di trementina; finchè funzionano le sole correnti indotte, queste nel trapassare dall' estremità superiore (n) dell' asta all' anello (x) circondano l'asta medesima con un bel fascio o covone luminoso, come nell' esperienza dell' uovo elettrico. Ma, se si fa passare la corrente voltaica nel filo dell' elettromagnete, la luce si raccoglie tutta in un solo arco (xn), che da un punto dell' anello va ad un punto dell' estremità superiore dell' asta, e gira intorno a questa ora in un senso, ora nell' altro, secondo la direzione della corrente indotta. Fenomeno che si riporta naturalmente, anzi è l' inverso a quello delle rotazioni (61. V. 8°) delle calamite per le correnti; e che è stato imaginato e preveduto da Delarive, a fine di spiegare per mezzo del magnetismo terrestre quel tale movimento rotatorio da ovest e sud ad est, che si osserva nelle aurore polari.

Fig. 224.

65. Induzione magnetelettrica. — A confermare l' ipotesi amperiana (**61.** IV.1°) intorno al magnetismo, viene opportuna la seguente:

I. PROPOSIZIONE. *Anche le calamite producono correnti elettriche di induzione.*

Dimostrazione. I. Se intorno ad un telarino o ad un tubo vuoi di legno, vuoi di cartone si avvolga un filo di rame vestito di seta, i cui capi chiudano tutto un circùito col filo del galvanometro, e quindi vi si approssimi od introduca una calamita; subito l'ago calamitato colle sue deviazioni mostra una corrente elettrica istantanea, inversa a quelle che (secondo la teoria amperiana) debbono supporsi nella calamita. Estraendo poi, od allontanando la calamita dalla spire metalliche, si eccita un'altra corrente, che è parimente istantanea, ma diretta con quelle della calamita. II. Ma anche senza muovere o la calamita o il rocchetto, basta che questa rimanga in presenza del circùito chiuso, e che le si appressi, o da lei si rimuova l'àncora, perchè nascano nel modo stesso sul filo metallico le correnti indotte istantanee. III. A completare l'analogia, che passa fra una calamita e la Terra, restava a vedere se questa ancora possa produrre correnti di induzione. Lo stesso Faraday, che avea già scoperto le correnti prodotte dalla calamita, pel primo ottenne indizii d'induzione al galvanometro per mezzo di una spirale di rame, nell'asse della quale collocava un cilindro di ferro dolce, e cui girava bruscamente dopo di averla collocata parallelamente all'ago d'inclinazione. Qui peraltro l'induzione era dovuta alla calamitazione del ferro dolce esercitata dall'azione terrestre. Ma poscia Nobili ed Antinori, avvolgendo le eliche di rame su grandi zone circolari di legno, ebbero indicazioni assai energiche, senza l'intervento del ferro dolce. Palmieri, e Linati, quasi nel tempo stesso, ottennero colle correnti indotte dalla Terra perfino la scossa, la scintilla, e la decomposizione dell' acqua. Da ultimo il medesimo Palmieri di Napoli costruì una macchina (fig.225.), colla quale può felicemente dimostrarsi l'induzione della Terra. Tal macchina consiste in un anello ellittico di legno, il cui asse medio è di circa un metro, e sul quale sono ravvolti un 200

Digitized by Google

giri di filo di rame. Per trarne le scintille si deve, con un manubrio ed un piccolo roteggio, girare velocemente l'anello intorno ad un asse collocato perpendicolarmente al meridiano magnetico.

II. DEFINIZIONI. 1ª L'induzione delle calamite chiamasi *magnetelettrica.*

2ª Quella della Terra è detta *tellurelettrica.*

3ª Un circùito metallico, destinato all'induzione, suol dirsi *armatura d'intensità*, se è costituito da un filo fino ed assai lungo; vien detto invece *armatura di quantità*, se è formato da filo corto e grosso.

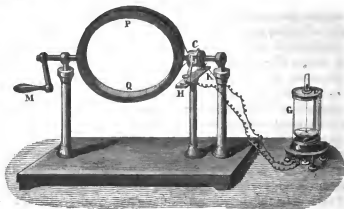
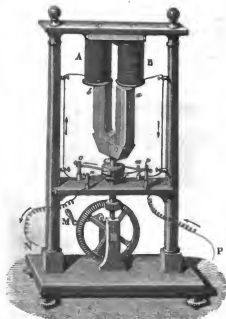



Fig. 225.

III. SCOLII. 1° Sono stati imaginati varii apparecchi, denominati *macchine magnetelettriche*, coi quali, per mezzo delle correnti indotte da una calamita, si ottengono tutti gli effetti proprii dell'elettrico sia statico, sia dinamico. Il primo di tutti fu costruito nel 1832 da Pixii. Una calamita (fig. 226.) a ferro di cavallo (*a c' b*), girevole intorno ad un asse per mezzo di una ruota e di un rocchetto dentato, rasenta coi suoi poli le estremità del ferro dolce di un elettromagnete (AB), il cui filo di rame è destinato a ricevere le correnti indotte. Quando i poli (*ab*) della calamita si avvicinano alle estremità (A,B) dell'elettromagnete, si produce nel filo una

corrente inversa a quelle della calamita; la quale corrente cresce finché la distanza diminuisce, e poi decresce di nuovo; quando invece se ne allontanano, si produce una nuova corrente diretta, prima crescente e poi decrescente. Seguitando a girare la calamita, nasce un' altra corrente indotta, ma di senso inverso alla prima: perchè i poli della calamita ànno cangiato posto. Dunque questa terza corrente è consentanea colla seconda, vi si sovrappone in parte, e ne è come la continuazione. La corrente indotta, che avrà luogo per quarta, sarà inversa alla terza, ma consentanea colla prima, e però anche colla quinta, la quale si suscita quando la calamita principia un secondo giro. Se dunque la rotazione è rapida, le quattro correnti si ridurranno a due succedentisi in senso opposto. Ma una di queste due, per mezzo di un reotropo ($c\,c'$), può essere invertita, ed interrotta. Con questa macchina si ottengono le scintille, le commozioni che si ripetono a ciascun cangiamento di direzione della corrente, la decomposizione dell' acqua, e la carica di un condensatore.

Fig. 226.

2° Gli effetti medesimi si producono più facilmente colla macchina (fig. 229.) di Clarke. L'elettromagnete gira intorno ad un asse orizzontale, e porta i due rocchetti non sotto l'estremità, ma davanti la superficie dei bracci di una forte calamita

artificiale a più ferri di cavallo, fissata verticalmente. La calamita può avvicinarsi più o meno all'elettromagnete, e le estremità del filo di questo sono congiunte ad un asse orizzontale; e quindi la corrente può assai facilmente rovesciarsi. Per riceverne delle commozioni è in pronto un artificio. Siccome le mani e le braccia conducono l' elettrico assai male, così lo strumento è fornito di un reotomo, il quale interrompe le correnti due volte in ciascun giro, e proprio nell'atto, in cui sono al massimo d' intensità. Allora le correnti, non avendo altro esito, si precipitano nell' arco di deviazione, di cui fa parte l' esperimentatore, e producono delle forti commozioni [1]. Introdotto un reotropo (fig.228.), si può decomporre l'acqua.

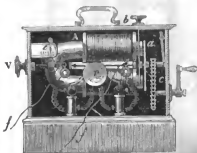



Fig. 227.

3° Per ottenere gli effetti *fisiologici*, e *chimici*, bisogna adoperare l' armatura d' intensità ; per avere poi più energici gli effetti *fisici*, conviene sostituire l' armatura di quantità.

1 Sugli esposti principii sono fondate certe macchine, che sono chiamate *elettromedicali*, perchè si pretende che le loro commozioni possano avere qualche utilità terapeutica, e sì anche *a scosse graduate*, perchè se ne può aumentare o diminuire a piacere l'energia. Ci contenteremo di descrivere quella (fig.227.) di Breton. La quale è preferita alla macchina di Clarke pel suo piccolo volume e peso; e ne differisce, perchè i rocchetti racchiudono non il ferro dolce, ma il fascio magnetico a ferro di cavallo; e perchè, invece di far girare essi rocchetti in faccia ai bracci del fascio, si mette in rotazione (per mezzo di una catenella che abbraccia insieme una ruota dentata ed un rocchetto) una leggiera lastra di ferro dolce, che a maniera di àncora passa rapidamente davanti alle estremità della calamita. Affinchè poi la corrente inversa rimanga soppressa, fanno parte del circùito due mollette metalliche; una delle quali poggia sull' asse di metallo, che sostiene e fa girar l'ancora, e l' altra striscia su di un collare annesso all' asse medesimo, e fatto per metà di metallo, e per metà di osso. La graduazione poi delle scosse si ottiene principalmente per mezzo di una vite, colla quale il fascio magnetico può essere appressato o allontanato dall' àncora girante.

4° Le correnti indotte dalla Terra ànno quella direzione, cui debbono avere nell' ipotesi, che il globo sia ambito da correnti circolanti da est ad ovest perpendicolarmente al meridiano magnetico. La loro intensità può esser tale, da produrre tutti i fenomeni delle correnti voltaiche. Ma a questo intendimento bisogna adoperare una *batteria tellurelettrica*,

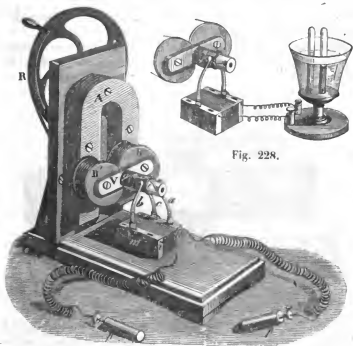



Fig. 228.

Fig. 229.

come chiamano ; cioè un sistema di molte spirali tutte fra loro parallele, mobili intorno ad un medesimo asse orizzontale, e comunicanti insieme. Anzi giova assaissimo che ciascuna spirale racchiuda un cilindro di ferro ; affinchè questo stesso, magnetizzandosi per l'influsso della Terra, aggiunga da sè solo altre correnti a quelle indotte immediatamente dalla Terra medesima.

Digitized by Google

66. Magnetismo di rotazione, e diamagnetismo. — PROPOSIZIONI. 1ª *Un conduttore fermo arresta il moto di una prossima calamita ; ma se uno dei due* (conduttore e calamita) *si muove, è messo in moto anche l'altro.*

Dimostrazione della 1ª *parte.* Si ritolga dalla sua posizione d'equilibrio per un determinato numero di gradi un ago da bussola, posto successivamente sopra dischi di marmo, di zinco, e di rame; e si vedrà che i tempi da lui impiegati a fermarsi stanno fra loro, come i numeri **1 : 0,6 : 0,5**.

Dimostrazione della 2ª *parte.* Sopra (fig.**230.**) un apparecchio di rotazione (**AB**) si fissi, in posizione orizzontale, un

Fig. 230.

disco conduttore , per esempio di rame (M) ; e a poca distanza da questo nella retta, che passa per l'asse verticale di rotazione, si ponga in bilico un ago calamitato (*ab*). Allora, facendo girare il disco, l'ago devia dal meridiano magnetico ; e tanto più , quanto la rotazione del disco è più veloce. Anzi se la velocità arrivi a tal segno da far deviare l'ago al di là di 90°, questo non à più ritegno , e corre ruotando appresso al disco. Rovesciando il senso della rotazione del disco, il moto dell'ago ritarda, cessa , e poi ripricipia nella direzione opposta. Se invece sull'asse di rotazione si fissi verticalmente un fascio magnetico a ferro di

cavallo (come quello *ac'b* della fig.226.), e sopra i poli di questo si sospenda ad un filo il disco; la rotazione del fascio determina nel disco stesso una consentanea rotazione.

2ª *I movimenti di un conduttore o di una calamita, per la rotazione di una calamita o di un conduttore, debbonsi alle correnti indotte.*

Dimostrazione. La proposta cagione è *vera* e *sufficiente*: dunque è l' unica spiegazione del fenomeno. 1. Che sia vera risulta sì dalla legge stabilita (**61.** I. **65.** I.) delle induzioni elettrodinamiche; sì dal fatto che, impedendo le correnti d'induzione per mezzo di fenditure fatte secondo i raggi del disco, cessa ogni rotazione; e sì finalmente dalle indicazioni galvanometriche. In fatti si abbia (fig.231.) una lastra metallica rettangolare (FF'), i cui due orli più lunghi possano strisciare sotto le estremità immobili (R,R') del filo di un galvanometro, fissate in due punti (RR') opposti; e sopra tal piastra ritrovisi il polo (N) di una calamita, le cui correnti amperiane girino destrorso. Strisciando verso giù la piastra, il reometro accusa una corrente rettilinea sinistrorso (R'R); strisciandola in su, o cangiando il polo, o trasportando il medesimo sotto la piastra, la corrente va destrorso. Ond' è che, se la piastra scorre fra due poli opposti, le azioni dei due poli cospirano, e s' addizionano. Che se il secondo filo del reometro si trasporti su l'uno (in F) o sull' altro (in F') lato più breve del rettangolo, la corrente passando sotto la calamita (N) va curvilineamente al detto filo. Per la qual cosa togliendo ambidue i fili, la corrente potrà scaricarsi nella piastra medesima formando due circùiti, uno (P) destrorso, ed uno (Q) sinistrorso. Anzi il movimento produce delle correnti elettriche nei conduttori pel solo influsso della Terra. Dacchè, mettendo i capi del filo del reometro in comunicazione uno col centro, e l' altro colla circonferenza di un disco orizzontale metallico, si manifestano delle correnti dal centro alla periferia, o viceversa, secondo il senso della rotazione: l' inten-

Fig. 231.

sità delle quali, per una stessa velocità di rotazione, giunge al massimo, quando il disco gira in un piano perpendicolare all' ago di inclinazione. ii. Che poi tale cagione sia sufficiente a spiegare il fenomeno, facilmente si prova. È certo che le correnti indotte esigono un certo tempo per isvilupparsi; e perciò la linea, secondo la quale esse (RR′) procedono, deve essere, pel moto della piastra, un poco in avanti (cioè in AB), non proprio sotto l' asse della calamita. Per la qual cosa la corrente della calamita, che resta dalla parte, verso cui va la piastra, deve essere attratta dalla cor-

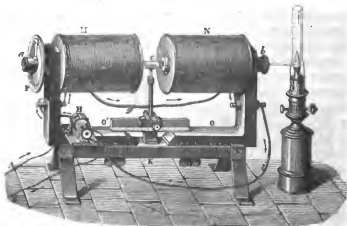



Fig. 232.

rente della piastra, più di quello, che ne sia respinta la parte posteriore della calamita medesima: e quindi questa dovrà muoversi nel senso della piastra. Veramente le correnti indotte esercitano tre forze; una delle quali è repellente, e perpendicolare al piano del disco; l' altra è variabile e diretta nel senso dei raggi; e la terza è quella da noi or ora studiata, la quale produce le rotazioni.

II. DEFINIZIONI. 1ª I fenomeni, che provengono dall' induzione dinamica dei conduttori in movimento, corrono sotto il nome di *magnetismo di rotazione*.

2° Le lastre o dischi di rame, destinati a fermare le calamite oscillanti, vengono chiamati *smorzatori*.

3° Posti due elettromagneti sulla stessa linea retta, che passa pel loro mezzo, dicesi *assiale* la posizione di un cilindro o di un parallelepipedo, il cui asse maggiore giace sulla detta retta.

4° È chiamata invece *perpendicolare* la posizione, che riesce normale alla linea assiale.

III. SCOLII. 1° Fu Arago che nel **1824** vide pel primo che le calamite sono fermate dai conduttori fermi; e nel **1825** scoprì la rotazione degli aghi pel movimento dei conduttori.

2° Sieno (fig.232.) due potenti elettromagneti (M, N) posti sulla stessa linea retta in guisa, che possano avvicinarsi o allontanarsi a vicenda: i loro ferri dolci sieno forati longitudinalmente, e questi fori alla bocca esterna (in *a* e *b*) siano chiusi con due prismi di Nicol (**35**. III. 4°), colle sezioni principali poste perpendicolarmente; e da ultimo fra essi, ossia (in *c*) davanti alle bocche che si riguardano, si collochi una lastra a facce parallele di flinte, o di vetro. La luce è estinta: ma, appena passa la corrente, apparisce una luce colorata, e girando l' analizzatore (*a*) secondo la direzione della corrente, la luce trapassa pei singoli colori dello spettro, come accade nel quarzo tagliato perpendicolarmente all'asse (**37**. I. 1°). La proprietà, che acquistano varie sostanze solide o liquide, di far rotare il piano di polarizzazione della luce viene attribuita all' influenza delle calamite sulle sostanze stesse trasparenti. Questi fenomeni sono stati scoperti da Faraday nel **1845**.

Fig. 233.

3° Un piccolo cubo (fig. 233.) di rame (*m*) venga sospeso fra due potenti elettromagneti, per mezzo di un filo torto; e prima di far passare la corrente si lasci a sè stesso, affinchè si storca. Si vedrà che, appena passa la corrente, il cubo si arrèsta lì secco nella posizione, in cui ritrovasi. Fenomeno trovato parimenti da Faraday nel **1847**.

4° In luogo del cubo si appenda per un filo fra i due elet-

tromagneti (S, Q) un piccolo parallelepipedo. Questo si colloca in posizione assiale, se è formato di una sostanza paramagnetica (**42**. III. 11ª); se poi è diamagnetico, si ferma nella perpendicolare.

5° Si empiano dei tubettini di vetro con diversi liquidi, e si sospendano (in *m*) fra mezzo i due elettromagneti. Se i liquidi sono paramagnetici, come le soluzioni acquose, nitriche, e solforiche di molti sali di ferro, di niccolo, e di cobalto, i tubetti prendono la posizione assiale; prendono invece la perpendicolare, se contengono liquidi diamagnetici, come l'acqua, l'acquarzente, l'etere, gli acidi solforico e nitrico, il solfuro di carbonio, l'essenza di trementina, e la maggior parte delle soluzioni saline.

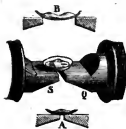



Fig. 234.

6° L'azione delle potenti calamite, sui liquidi paramagnetici o diamagnetici, si osserva ancora versandoli successivamente dentro un vetro da orologio (fig.234.), e posando questo sugli estremi (S, Q) dei due elettromagneti. I liquidi paramagnetici formano uno (A) o due (B) rigonfiamenti, secondo che i rocchetti distano poco (A) o molto (B); si accumulano insomma sui punti, nei quali la forza della calamita è maggiore. I diamagnetici offrono gli effetti inversi, come à osservato Plücker nell'idrargiro.

7° Il p. Bancalari pel primo à osservato, che la fiamma di una candela (fig.235.), posta fra i due rocchetti dell'apparecchio di Faraday, è fortemente respinta. Questi à ottenuto la ripulsione anche della luce elettrica (fig. 181.). La fiamma di essenza di trementina, collocata (fig.236.) fra i poli dei due elettromagneti, si raccoglie in sè stessa verso il centro (E), e si solleva gradatamente ai fianchi, mandando di qua e di là due colonne di fumo, che si diramano a guisa di parabola.

8° Per determinare il paramagnetismo e diamagnetismo dei fluidi aerei, si possono questi far passare misti a qualche vapore visibile fra i due poli degli elettromagneti; oppure si

possono chiudere in leggerissimi tubettini di vetro, o bolle di sapone. Così facendo si è veduto, che l'ossigene è il solo vapore fortemente paramagnetico; e che lo sono anche, sebbene assai debolmente, quei vapori che lo contengono, come l'aria, il biossido di nitrogene, e l'acido nitroso. Pare che lo stato d'incandescenza renda diamagnetici i vapori; come mostrano le sperienze di Bancalari.

9° Se fra i due poli (S, Q) degli elettromagneti (fig. 234.) si colloca un grosso filo, per cui passi la corrente loro, non si vede scintilla, nè si ascolta fragore. Ma appena s'interrompe la corrente, si ode una *detonazione* violenta: fenomeno che sembra doversi ascrivere all'estracorrente.

Fig. 235.

10° Abbiamo veduto, che un disco di rame girante determina una rotazione di un ago calamitato, e che un cubo è fermato tutt'ad un tratto dai poli di due forti calamite. Perciò sembra che in certe circostanze i conduttori, e le calamite, o i circuiti chiusi tendano per mutuo influsso alla quiete relativa. Chi dunque volesse impedire questi effetti avrebbe ad impiegare un certo lavoro meccanico per vincere la resistenza opposta dall'azione induttrice delle calamite. Or bene: se fra le due braccia di un forte elettromagnete a ferro di cavallo, ma inattivo, si faccia rotare meccanicamente un disco di rame colla velocità di un 200 giri a secondo, non si prova che piccola resistenza a girare il manubrio; anzi il disco abbandonato a sè continua a muoversi per lungo tempo. Ma non sì tosto gli elettromagneti divengono attivi, cioè sono circuìti dalla corrente, che il disco ed i pezzi annessi s'arrestano quasi istantaneamente; e si prova grande difficoltà a far proseguire il movimento. Che se, ad onta di tale resistenza, si continua a girare, il disco si riscalda in modo straordinario. Si racconta che Foucault, il quale à imaginato recentemente tale esperienza, abbia ottenuto in 3 minuti la temperatura di 61°;

Fig. 236.

Digitized by Google

e la corrente era prodotta da 3 soli elementi alla Bunsen! Il qual fatto sembra favorire l'ipotesi vagheggiata oggidì da varii Fisici, che cioè la forza impiegata, se non produce moto, si trasforma in calorico.

11° Chi ne sa dire perchè, dovunque volgiamo lo sguardo, ci si facciano incontro tanti, e sì diversi mirabili oggetti, che ci appariscono gli uni degli altri più belli; e ciascuno dei quali à una vaghezza sua propria, e le sue speciali attrattive? perchè, per una non interrotta variazione di scene, tutto giorno, e per ogni dove ci si offrono nuovi argomenti di ammirazione? perchè quanto maggiore è il numero delle cose, che arriviamo ad intendere, e che ci recano la più grata sorpresa, e sono acconcie alle più vantaggiose applicazioni; e tanto è anche maggiore il numero, e più grande la eccellenza delle meraviglie, che ci rimangono tuttora a scoprire? Ciò in verità non per altro avviene, se non se per eccitarci incessantemente ad ammirare ed adorare quel grand'Essere, che è infinitamente più magnifico e più sublime di quanto colpisce i nostri sensi, di quanto riscuote la nostra maraviglia, di quanto ci riempie di sempre nuovo ed ineffabile stupore.

ARTICOLO VI.

SORGENTI, E TEORICA DELLA ELETTRICITÀ.

***67. Sorgenti meccaniche di elettricità.** — L'attrito non è la sola operazione meccanica, onde può svilupparsi l'elettrico; come passiamo a dimostrare.

I. PROPOSIZIONE. *Tutte le azioni meccaniche, le quali ritolgono le molecule di un solido dalle loro posizioni relative, sono sorgenti di elettrico.*

Dimostrazione. È un fatto che col percuotere, comprimere, dividere, limare, raschiare certi corpi si ottengono ordinariamente segni non dubii di elettricità. Molti cristalli, e specialmente lo spato islandico, si elettrizzano col solo premerli fra le dita. Allo sfogliare nell'oscurità una lamina di mica, o di solfato di calce, o di qualsivoglia altra sostanza di struttura lamellare, balena una luce simile ad una debole

fosforescenza; anzi le parti disunite si mostrano eteronimamente elettrizzate. È sufficiente ad eccitare l'elettrico la semplice restituzione, che avviene nei corpi elastici, allorchè riacquistano il loro primiero volume. Ed E. Becquerel à riconosciuto che per lo svolgimento dell'elettrico influisce più lo stato moleculare, che la sostanza.

II. LEGGE. *Dei due corpi, che si strisciano uno sull'altro, quello è più disposto ad assumere l'elettrico +°, le cui molecule meno si allontanano dalla loro posizione d'equilibrio; e viceversa.* Questa legge già (**18.** II. 2°) accennata sembra potersi dedurre da tutti i fatti.

III. SCOLII. 1° Intorno ai liquidi conviene avvertire che, se sieno ridotti in uno stato di gran divisione, si elettrizzano per attrito assai fortemente. Mettendo da parte il fenomeno della macchina *idroelettrica* (**18.** II. 4°), è certo che il vetro, su cui si getta con impeto e frastagliatamente dell'etere, dell'acquarzente, o della resina liquefatta, si mostra carico di molta elettricità.

2° Quanto agli aeriformi è ragionevole dubitare se l'elettrico svolgasi pel solo loro attrito, o non più veramente per quella di un liquido o di un solido, il quale in istato di estrema divisione trovisi a loro frammisto: dacchè, mancando questa, non suole ottenersene uno sviluppo sensibile.

3° Quello che è certo si è, che l'elettricità, la quale si desta in occasione di qualche azione meccanica, non può ascriversi al calorico, che inevitabilmente vi si associa. Infatti ad uno dei due capi del filo del galvanometro si saldi una laminetta di ferro, ed una di rame all'altro capo. Col sovrapporre (tenendole isolate da ogni altro corpo) una delle due lamine all'altra, non si à verun segno di elettrico. Ma se una di esse si fa scorrere velocemente sull'altra, subito l'ago accusa una corrente, che pel filo va dal rame al ferro. E si noti bene, che tale corrente non cangia direzione se, invece di fare scorrere gli stessi punti della lamina di ferro su tutta la superficie del rame, si operi al contrario. Ora la direzione di una corrente termoelettrica si rovescia, ogni qualvolta il metallo, che era il più caldo, diviene meno caldo: o all'opposto.

4° Nè si deve a veruna azione chimica; all'ossidazione, per esempio, come à preteso Wollaston. Dacchè si ottiene anche nel vuoto; Peclet à raccolto le stesse quantità d'elettrico in tre ambienti diversi, cioè aria, idrogene, ed acido carbonico; ed E. Becquerel à ottenuto col talco, colla farina, e colla piombaggine (che non producono azioni chimiche) per mezzo dell'attrito la stessa tensione, che è data dalle sostanze le più ossidabili.

*** 68. Sorgenti fisiche di elettricità.** — Possono riportarsi alle sorgenti fisiche l'influenza, il riscaldamento, ed il contatto. Sull'influenza sia dei corpi elettrizzati, sia delle correnti elettriche, sia delle calamite, sia della Terra abbiamo sufficientemente ragionato: resta che diciamo qualche cosa delle altre sorgenti.

I. SCOLIO. Per quello che riguarda il riscaldamento, convien sapere che i cristalli di tormalina (come mostrò Lemery fin dal 1717), nell'atto che vengono riscaldati o al fuoco, o nell'acqua bollente, mostrano elettricità +ᵃ in una estremità, e —ᵃ nell'opposta. Tanto che Gaugain à tratto delle scintille da un quadro fulminante caricato con una pila fatta di 15 tormaline riunite pei poli omonimi. Accade una cosa analoga (come ànno esperimentato Canton, Brard, Haüy, e Brewster) nei topazii del Brasile, nel silicato di zinco, nelle boraciti, e talvolta anche nel quarzo, ed in certi cristalli artificiali, come sarebbero quelli di zucchero, e di acido uvico. Dal che apparisce che questi cristalli debbon appartenere alla classe dei coibenti. Ma anche certi deferenti, se non assumono elettricità statica, possono almeno, come è già (**58.** III.12°) stato accennato, dare origine ad una corrente, che perciò è detta termelettrica.

II. DEFINIZIONI. 1ᵃ L'elettrizzamento di certe sostanze cristalline dicesi *polarità elettrica*.

2ᵃ L'elettrico, che in esse destasi, è detto *piroelettricità*.

3ᵃ Le sostanze capaci della polarità elettrica sono chiamate *piroelettriche*.

4ᵃ Appellansi *poli* ed anche *polari* le facce, nelle quali appariscono le due elettricità eteronime.

5ᵃ Vien detto polo *omologo* quello, che prende l'elettrico del

segno medesimo della temperatura, cioè +ª nel riscaldamento, e viceversa; e l'altro s'appella *antilogo*.

6ª Dicesi *potere termoelettrico* la virtù, che ànno certi metalli, di svolgere una corrente diretta dalla parte più calda verso la meno calda.

7ª Vien chiamata *elettricità di contatto* quella, che si svolge pel solo contatto dei corpi eterogenei; escluso ogni intervento di palese azione chimica.

III. LEGGI. 1ª *I fenomeni piroelettrici sono connessi colla costituzione molecolare dei corpi*. È un fatto che tutte le sostanze piroelettriche ànno struttura cristallina; e di più la loro forma fa eccezione alla legge di simmetria, così nel numero come nella posizione delle facce polari. Anzi la proprietà di elettrizzarsi per riscaldamento appartiene (come fu dimostrato da Canton e Brewster) alle singole molecule dei cristalli: giacchè, rompendo un cristallo elettrizzato, anche i frammenti si mostrano forniti, a somiglianza delle calamite, di polarità elettrica. Perciò la scolezite è elettricissima, ma solo dappoi che il calore l'à trasformata in una massa composta di particelle indipendenti.

2ª *I fenomeni piroelettrici appariscono solo nell'atto, che il cristallo si riscalda, o raffredda ; ed in questi due casi sono inversi*. Infatti, finchè la temperatura, qualunque ella siasi, di un cristallo si conserva costante, non si manifesta alcun indizio di elettricità; ma non sì tosto accade che esso venga a riscaldarsi, che subito appariscono e spariscono i due poli. I quali riappariscono, ma in senso inverso, se succeda raffreddamento ; come ànno dimostrato Canton e Bergmann.

3ª *Ogni cristallo assume una diversa tensione; ma in ciascuno la elettricità +ª è proporzionale alla —ª*. E di vero immergendo il cristallo piroelettrico in un vaso metallico riempiuto d'acqua, il vaso non dà verun segnale elettrico. Il che prova, che le due elettricità si neutralizzano a vicenda.

4ª *La corrente termoelettrica nel metallo di maggior potere termoelettrico va dall'estremo più caldo al meno caldo; e nell'altro viceversa*. Già Volta avea annunciato che una lastra d'argento, disugualmente calda alle sue estremità, co-

Digitized by Google

stituisce un elemento elettromotore. Ma Seebeck nel **1821**, ad una lastrina (fig.237.) di antimonio (AN) saldatane un'altra (BISM) di bismuto, ripiegata ai due estremi ad angoli retti, ed introdotto fra le medesime un ago da bussola, ritrovò la legge ora annunciata. Per concretar la quale conviene sapere che il potere termoelettrico nei metalli più conosciuti diminuisce (secondo le sperienze di Nobili, i risultati delle quali differiscono alquanto da quelli ottenuti da Cumning) nell'ordine seguente: bismuto, platino, piombo, stagno, rame, oro, argento, zinco, ferro, antimonio. Ma sono termoelettrici anche certi conduttori non metallici: per esempio il perossido di manganese, e la piombaggine.

5ª *Non è necessaria una eterogeneità sostanziale nei due termoelettrici, ma basta la diversità di struttura e disposizione moleculare.* Imperocchè si ànno delle correnti, se una sbarra sia di ferro dolce, e l'altra di ferro temperato. Inoltre, se si riuniscono i capi del filo di rame del reometro con quelli di un altro filo parimente di rame, non vi à corrente: ma se questo secondo filo in qualche parte si torca o si annodi, e poi ivi presso si riscaldi, all'istante apparisce la corrente diretta dal punto riscaldato a quello contorto o annodato. Sembra che basti qualunque condizione capace d'impedire l'uniforme propagazione del calorico. E però, riscaldando un capo del filo del galvanometro, e mettendo velocemente in contatto i due capi, l'ago accusa una corrente che va dall'estremo riscaldato all'altro. S'aggiunga che i liquidi, appunto perchè non ànno struttura, non sono termoelettrici, come risulta dalle sperienze di Matteucci, e di Magnus. Di più Sturgeon in una catena di bismuto ed antimonio à trovato dei punti neutri, e Matteucci à verificato che questi ritrovansi colà, ove la cristallizzazione è assai irregolare.

6ª *La tensione delle correnti termoelettriche è assai debole.* E però il filo del reometro per la termoelettricità dev'essere corto e grosso.

7ª *Una debole corrente elettrica, che passi per due sbarre termoelettriche saldate insieme per un capo, produce nel punto di contatto raffreddamento, quando va dal più al me-*

no potente termoelettrico; *ma quando va in senso inverso, eccita ivi stesso un riscaldamento*. Questa legge, ritrovata da Peltier, sembra un caso dell'altra più generale, della variazione cioè di temperatura determinata dalla corrente nel passare pel punto di contatto di due deferenti eterogenei: variazione che è detta *secondaria*. Certo è che, accrescendo successivamente la forza della corrente, prima si à un raffreddamento; ma dopo si ottiene un riscaldamento, sebbene minore di quello che à luogo coll'invertire la corrente. È poi singolare, che l'abbassamento di temperatura venga prodotto dalla corrente contraria in direzione a quella, che si desta col raffreddare la saldatura medesima.

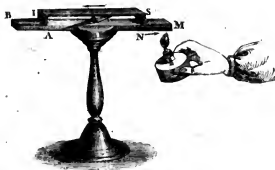



Fig. 237.

IV. ALTRI SCOLII. 1° Secondo Becquerel la propagazione del calorico in un conduttore è sempre accompagnata da movimento di elettricità. Se tutto è simile da ogni parte del punto riscaldato, si ànno due correnti uguali e contrarie, le quali si distruggono a vicenda; ma se esistono delle cause (come sarebbe la soluzione di continuità, la eterogeneità dei metalli, la differenza di struttura) che modifichino la propagazione del calore più da una parte che dall'altra, una delle due correnti prevale, e diviene palese.

2° È questione tra i Fisici se l'elettricità, la quale si sviluppa (55. II.) nel contatto di due metalli eterogenei, si debba al contatto stesso, o non più veramente a qualche

azione meccanica, calorifica, o chimica. Che non debbasi a veruna azione meccanica può risultare da ciò, che si à talora sviluppo di elettrico senza verun attrito, pressione, percussione, e simili azioni chiamate meccaniche; ma col semplice contatto. Purchè dunque non voglia riguardarsi questesso come un'azione meccanica, converrà riconoscere in lui una nuova sorgente di elettricità. Si può anche ritenere che la sopraddetta elettricità non sia dovuta al riscaldamento: dacchè, facendo che dei due metalli a contatto il più caldo divenga più freddo, non si rovescia la corrente; il che, secondo le legge della termoelettricità, dovrebbe per fermo accadere. Che poi non debbasi a veruna azione chimica incontrovertibile, pare potersi dedurre dal fatto, che in alcune pile non vi à azione chimica, se non dopo chiuso il circùito e stabilita la corrente, e nelle altre le azioni chimiche sono visibilmente rinforzate allora quando principia in esse a circolare l' elettricità. Talchè sembra che non la corrente dalle azioni chimiche, ma queste da quella dipendano. Inoltre nelle sperienze di Volta si à l'elettrizzamento senza azioni chimiche. Delarive, partigiano della teoria chimica della pila, ricorre all' umidità delle dita, colle quali sostiensi l' elemento; e, se questo non sia, all' umidità dell' aria, che ossida lo zinco; e lo prova dall' appannamento del metallo, e dal cessare dei segni col verniciarlo. Ànno un bel mostrare i segnali elettrici un Peclet ad onta della vernice, un Plaff e Fechner nel vuoto e nell'aria secca, un Peltier con un elemento di oro e platino; ànno un bel far vedere Becquerel, Karsten, e Buff il rovesciamento dei segnali quando interviene una palese azione chimica fra due metalli, o fra un metallo ed un liquido: chè ad ogni obiezione è pronta una più o meno sottile risposta. Checchè sia di ciò, un modo di scansare ogni difficoltà è di chiamare *elettricità di contatto* quella, che non può attribuirsi a veruna delle sorgenti conosciute, e neppure ad una *palese* azione chimica. L'argomento più probabile

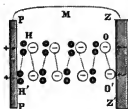



Fig. 238.

contro la teoria del contatto è di ragione, e può enunciarsi così: lo svolgimento di elettrico per qualcuna delle note sorgenti (azioni meccaniche, calorifiche, e chimiche) pare certo che sia sempre accompagnato da spostamento delle molecule; cosicchè quella cessa, appena queste ritornano al loro stato di riposo. Ora pel semplice contatto potrà forse esservi un movimento molecolare, nell'atto che esso si effettua; ma poi tutto deve ritornare all' equilibrio. Come dunque il contatto potrebbe dare non un flusso istantaneo di elettricità, ma una corrente continua? Del resto non si esclude il contatto col dire che esso non è una forza, e però non può produrre effetti: dacchè qui non si tratta di cagioni efficienti (chè queste debbono probabilmente ridursi ad una sola, e chi saprebbe dire con certezza quale essa sia?), ma di semplici occasioni dell'elettrizzamento.

Fig. 239.

3° Alcuni chiamano elettricità di contatto quella che, secondo essi, devesi non ad una compiuta azione chimica, ma alla tendenza dei corpi a combinarsi, cioè alla chimica affinità. Il qual concetto nell' applicazione coincide col temperamento da noi adottato, e colla spiegazione che suol darsi del cominciare, o almeno rafforzarsi le azioni chimiche solo allora che principia la corrente. Ecco la spiegazione (fig. 238.) proposta da Schoebein. Lo zinco (Z) elettropositivo attrae l' ossigene (O) elettronegativo e respinge l' idrogene (H) elettropositivo; quindi le molecule dell' acqua restano *polarizzate*, ossia rivolgono tutti gli atomi (O) dell' ossigene allo zinco, e quelli (H) dell' idrogene al platino (P). Restano perciò polarizzati anche i due metalli: ma tutto è in equilibrio; perchè le attrazioni elettriche non sono sufficienti a vincere l' affinità fra l' ossigene e l' idrogene. Ma appena si stabilisce la comunicazione (con M) fra i due metalli, le due elettricità contrarie si riuniscono, e lasciano libere le due residue. Queste allora operano con più forza, e principia la decomposizione. Questa ipotesi è stata invocata per ispiegare ancora perchè lo

zinco impuro (fig.239.), contenente cioè delle particelle (F) di cadmio e di ferro (elemento inattivo), sia attaccato con forza senza far parte di verun circùito; perchè lo zinco distillato, il quale non è quasi niente attaccato dall'acido solforico allungato, lo sia vivamente quando fa parte di una coppia a circùito chiuso; e simili 1.

***69. Sorgenti chimiche di elettricità.** — Per queste intendiamo le sole azioni chimiche, cioè le analisi e le sintesi. Altri volle includervi eziandio la semplice tendenza alle combinazioni: ma volendo qui prescindere da ciò che è controvertibile, e stando ai fatti, ad essa si deve sostituire il contatto, che è il fenomeno sperimentale, con cui l'elettrizzamento spesso si lega.

I. PROPOSIZIONE. *Le azioni chimiche fra solidi e liquidi, fra liquidi e liquidi, fra liquidi e vapori, e fra vapori e solidi sono sorgenti di elettricità.*

Fig. 240.

1ª *parte.* È certo che la elettricità di contatto è debolissima, e che, appena fra i due metalli (che si toccano) ritrovasi un corpo umido, si eccita una corrente molto sensibile.

1 Delarive ricorre a questa polarizzazione per ispiegare come aumenti la forza della pila col numero degli elementi. Se (fig.240.) il secondo zinco (*z'*) non esercitasse veruna azione sul liquido (*v'*) cui tocca, la polarizzazione prodotta nell'altro liquido (*v*) dal primo zinco (*z*) si trasmetterebbe solamente alla coppia (*pz*) formata dal secondo platino e dallo zinco, e poi al liquido (*v'*) del secondo scompartimento, che ne resterebbe polarizzato come quello del primo (*v*). Ma siccome il secondo zinco (*z'*) opera per polarizzare il liquido (*v'*), in cui è immerso; le due azioni si sommano, ed il liquido stesso (*v'*) è polarizzato con forza doppia. La polarizzazione, che questo riceve dal secondo zinco (*z'*), reagisce sul primo (*z*), si trasmette al primo platino (*p'*), e poi al liquido (*v*) del primo scompartimento; il quale si trova così doppiamente polarizzato come l'altro (*v'*).

Digitized by Google

È certo altresì che, in quest' ultimo caso, è condizione indispensabile all' abbondante sviluppo dell' elettrico che uno dei corpi eterogenei sia attaccato dal liquido; e, se lo sono ambidue, non lo sieno ugualmente. Anzi è provato che, durante la combinazione chimica di un liquido con un solido, il liquido si carica di +°, ed il solido di —°. E quando cessa la combinazione, cessa la corrente. Oppure (secondo numerose sperienze di Delarive e di Faraday) anche la corrente si rovescia, ove al liquido se ne sostituisca un altro capace di operare più su quel metallo, che fin lì era stato attaccato meno.

Fig. 241.

Veramente coll' immergere nell'acqua acidula un solido solo, non si ànno che debolissimi segnali elettrici; ma questo avviene perchè l' equilibrio elettrico fra il liquido ed il solido viene ristabilito immediatamente. Ed infatti i segnali di elettricità —° nel solido sono assai evidenti, ove (come

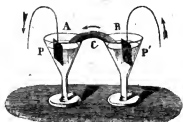
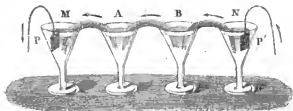



Fig. 242.

Pouillet e Peltier ànno sperimentato) il liquido evapori nell'atto stesso, che esercita l' azione chimica.

2ª *parte*. Fissate (fig. 241.) ai due capi del filo del galvanometro due laminette di platino, ed immergetene una (P) in un vasetto (A) di acido nitrico, e l'altra in un simile vaso (B) di soluzione di potassa; poi stabilite la comunicazione

fra i due liquidi per mezzo di un lucignolo d'amianto, o anche di lana, bagnato con acqua salata, o acidula: vedrete una corrente che nel filo del galvanometro va dall'acido all'alcali, e per conseguenza nel lucignolo cammina in senso inverso. Se sospettaste che la corrente dovesse attribuirsi al contatto del platino da una parte coll'acido, e dall'altra coll'alcali, immergete (fig.242.) le due lamine in due vaselli (M,N) pieni di soluzione di nitrato di potassa, e per mezzo dei soliti lucignoli fate comunicare la soluzione coi sopraddetti due vasi (A,B). Troverete che la corrente persevera, sebbene per l'aumentata resistenza ne sia diminuita la intensità.

3ª *parte*. Se in un vaso ripieno di acqua salsa (fig.243.) vi piaccia d'immergere due lamine di platino (P, P'), che abbiano servito da elettrodi in un medesimo voltametro, e che sieno unite per un filo metallico (PCP'); potrete facilmente sorprendere una breve corrente, la quale va dall'elettrodo —° (P) al +° (P'). Ora dalle accurate sperienze (specialmente di Matteucci) risulta, che quello è ricoperto di un sottil velo di idrogene, e questo di ossigene; e che la corrente è dovuta all'azione, che i due gassi esercitano sull'acqua per la presenza del platino.

Fig. 243.

4ª *parte*. Prendasi (fig. 244.), come pel primo à fatto Pouillet, un cilindretto (*c*) di carbone bene asciutto, se ne accenda un estremo, e si ponga l'altro in contatto col piatto dell'elettrometro condensatore; questo verrà a caricarsi di elettricità —ª. Che se all'incontro (fig. 245.) il carbone (*c'*) venga sottoposto ad una lastrina di platino comunicante col piatto del condensatore; questo allora si mostrerà carico di quell'elettricità +ª, che gli è stata ceduta dall'acido carbonico svoltosi nella combustione. Pare anzi che ogni combustione sviluppi elettricità. Un condensatore comunicante (fig.246.) con un'elica di platino, quando questa (A) rac-

chiude la fiamma d' idrogene uscente da un tubo metallico non isolato, diviene +°; diviene invece —°, quando (fig.247.) la stessa elica è assai stretta (B), ed immersa nell'idrogene. Dunque nella combustione l'idrogene prende l'elettrico —°, l' aria ed il vapore d'acqua assume il +°. Ma in molti casi è difficile distinguere ciò che devesi al calorico da quello, che può derivare dalle azioni chimiche.

Fig. 244. Fig. 245.

II. DEFINIZIONI. 1ª Dei due corpi formanti la coppia voltaica quello, che non soffre l' azione chimica, o la soffre meno dell'altro, è chiamato *elemento inattivo*.

2ª Si dà nome di *elemento attivo* all'altro.

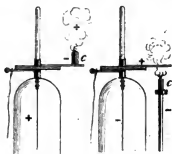
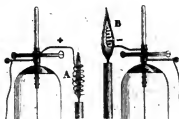
3ª La proprietà, che col fare da elettrodo acquista l' elemento inattivo di destare una corrente, dicesi *polarità secondaria*.

4ª Quella lamina, che in caso di polarità secondaria fa da elettrodo +°, si chiama *polarizzata positivamente*.

5° Vien detta *negativamente polarizzata* quella, che nel caso medesimo fa da elettrodo —°.

Fig. 246. Fig. 247.

III. COROLLARIO. Dunque la coppia elettrochimica è formata da due metalli, separati da un liquido atto ad attaccare uno di essi. Nella teoria voltiana la coppia era costituita da due metalli a contatto; ma abbiamo veduto che il metallo inattivo non serve che a trasmettere l'elettricità —°, la quale è gettata sull'attivo dall'azione chimica.

IV. SCOLII. 1° Poste le quali dottrine, facilmente si spiega l' elettrizzamento di una coppia (fig.248.). L'elettrico +° del

liquido va in gran parte nel rame (R), e per l'arco metallico (RCZ) corre a neutralizzare il —° dello zinco (Z); e così nasce la corrente, la quale si dirige dal rame allo zinco, e dura finchè lo zinco continua ad ossidarsi. Il perchè, se al rame venisse sostituito un metallo un poco più ossidabile, la corrente sarebbe più debole; mentre maggiore sarebbe la differenza delle due correnti contrarie generatesi in seno al liquido. Giova quindi sostituire al rame l'argento, il platino, il carbone calcinato. Ma sempre il polo +° corrisponde al metallo inattivo, ed all'attivo il —°.

2° Si spiega eziandio l'elettrizzamento di una pila di più coppie. Consideriamo, per esempio, tre coppie (fig. 249.) uguali di zinco e rame (RZ, R'Z',...), separate da acqua acidula, per la quale non è attivo che lo zinco. L'azione chimica produrrà ambedue le elettricità; una delle quali, cioè la +°, si spanderà nel liquido (ZR'), e la —° si getterà sullo zinco (Z), donde passerà nel rame (R), e finalmente nell'acqua acidula (RN), in cui pesca l'elettrodo (N). Ugualmente alla superficie dell'altro zinco (Z') si svolge elettricità, della quale la +° si spande nel liquido (Z' R''), e la —° per la 2° coppia metallica (R'Z') va a neutralizzare la +° eccitata dalla 1° (RZ). Come pure il fluido +°, che viene nel 3° scompartimento (Z'R''), è ugualmente neutralizzato dal —°, eccitato dall'azione chimica dello zinco (Z'') della 3° coppia. In fine il +°, svoltosi nell'ultima azione chimica, si porta nell'ultimo scompartimento (Z''P), ove ritrovasi l'altro elettrodo (P).

Fig. 248.

3° A questo modo s'intende perchè la tensione delle pile abbia un limite. Secondo quello che abbiamo detto, a ciascuna estremità della pila saravvi un eccesso d'elettricità libera, la quale aumenta rapidissimamente per la continuità dell'azione chimica, ma giunge ben presto ad un massimo di tensione, cui non può travalicare. Imperocchè le elettricità dei poli si riuniscono a traverso della stessa pila, e tanto

meglio quanto la lor tensione è maggiore. Onde la tensione giungerà ad un punto, in cui la quantità neutralizzata pareggerà quella prodotta dall' azione chimica.

4° Ma com' è che le tensioni aumentano dal mezzo agli estremi (fino ad un certo limite) col numero degli elementi? Ricordiamoi di ciò che abbiam detto fin da principio (1°), che cioè *solo in gran parte* la +° scorre sul rame; il che avviene perchè una porzione di elettrico passa pel liquido sullo zinco, la qual porzione è tanto minore, quanto è maggiore la resistenza che trovasi nel liquido. Ora questa aumenta col numero delle coppie. Dacchè, come ànno dimostrato Pouillet e Delarive, la conducibilità di una massa liquida interrotta da diaframmi metallici è in ragione inversa del numero loro. Dal che discende che più è considerevole il numero delle coppie interpolari, più è grande la resistenza che provano alla ricomposizione nella pila; e più ancora è forte la tensione, e più abbondante eziandio sarà l' elettrico, che scorre pel filo congiuntivo. Ne discende parimenti, che nelle coppie interpolari la tensione o la intensità dee decrescere dai poli al mezzo: poichè, abbreviandosi l'intervallo delle coppie, la resistenza alla ricomposizione è minore, e però nel centro è nulla.

Fig. 249.

5° Dal che sembrerebbe avesse a concludersi la corrente dover essere più intensa, quando il liquido è men conduttore; e che tanto una pila di molti elementi, quanto una coppia sola debbano dare se non la stessa tensione, almeno la stessa quantità, quando i poli sono riuniti da un conduttore, che non offre resistenza sensibile. La seconda conclusione è verissima: dacchè Pouillet à provato che tanto una coppia, quanto molte fanno deviare ugualmente l' ago. E la quantità di un elettrolito decomposta da una pila o da un elemento è la stessa, per un medesimo peso di zinco disciolto in ciascun elemento. Ond' è che il numero degli elementi serve solo ad accrescere la proporzione delle elettricità, che traver-

Digitized by Google

sano la parte esterna del circùito. Ma quanto alla prima deduzione è da avvertire, che il liquido men conduttore à minore energia chimica: e però le pile secche, e quelle ad acqua pura impiegano gran tempo a ricaricarsi, quando vengano scaricate.

6° E finalmente perchè le pile a circùito chiuso presto si indeboliscono, e poi cessano d'agire? Questo non devesi che in piccola parte all'alterazione chimica del liquido: sì perchè talora il liquido è assai abbondante e poco alterato, sì perchè (come à ben dimostrato Marianini) coll'aprire il circùito, la pila riprende a poco a poco la sua attività. La cagione principale è la polarità secondaria; o in altri termini sono quei depositi, che si formano sulle lastre metalliche per la decomposizione del liquido operata dalla corrente. Appena l'elemento inattivo comincia a ricoprirsi di basi o di sostanze positive, e l'attivo di acidi o di corpi negativi, oltre che nasce un impedimento al passaggio dell'elettrico, all'istante si desta nella pila una corrente, la quale, essendo diretta (I.3°) in senso inverso alla principale (IV.1°), ne paralizza l'energia. Se non che i depositi della lastra attiva sono per lo più disciolti dall'azione chimica, onde tutto l'inconveniente si riduce a quelli della lastra inattiva. Per toglierlo prima si pensò di assorbire l'idrogene per mezzo dell'ossigene, aggiungendo dell'acido nitrico all'acqua acidulata coll'acido solforico; e poi si volle diminuire la spessezza del velo gasseo, distendendolo in più ampia superficie, e si fece l'elemento inattivo più grande dell'attivo, come nella pila di Wollaston. Ma quello, che più d'ogni altra cosa giova per impedire la polarità secondaria, è circondare l'elemento inattivo di un buon ossidante; il quale, a mano a mano che si sviluppa l'idrogene, gli ceda il suo ossigene, e quindi non gli permetta di depositarsi sul detto elemento. Nella pila di Daniell l'ossidante è il solfato di rame, il cui ossido è ridotto dall'idrogene a stato nascente; e così il solo rame si depone sull'elemento inattivo, cioè sul rame. Nelle pile poi di Bunsen e di Grove l'ossidante è l'acido nitrico. Perciò queste tre pile sono a forza costante. Ma nelle pile a un liquido solo, come quella di Smee, il platino è *platinato*, ossia ricoperto

Digitized by Google

di polvere di platino, la quale fa sì che lo strato d'idrogene resti sempre lo stesso; con che si ottiene una sufficiente costanza.

7° Da tutte le cose dette si ricava anche il perchè debba amalgamarsi lo zinco per accrescere la forza delle pile. Così facendo, s'impediscono le così dette *azioni locali* (**68.** IV.2°) provenienti dall'impurità dello zinco di commercio.

70. Sorgenti meteorologiche. — Sebbene per sorgente di elettricità non s'intenda la vera cagione assoluta, ma la condizione sperimentale, con cui si connette l'elettrizzamento, tuttavolta si distinguono le sorgenti generali dalle particolari. Quelle sono le azioni meccaniche, fisiche, e chimiche, e queste sono l'atmosfera, ed il corpo degli animali. Può essere benissimo che in queste ultime l'elettricità nasca da una di quelle prime, specialmente dalle azioni chimiche; ma finchè questo non sia rigorosamente dimostrato, sarà sempre utile trattarne a parte. Nel seguente paragrafo discorreremo delle sorgenti fisiologiche; ora entriamo a parlare delle meteoriche: le quali sono il ciel sereno, le nuvole, ed anche la Terra, in quanto che il fulmine (che è certamente un fenomeno meteorologico) suppone sempre uno sbilancio nell'elettricità terrestre.

* I. LEGGI. 1ª *A cielo sereno l'atmosfera si mostra tanto più carica di elettricità +ª, quanto è più elevato e libero il sito dell'osservazione.* Infatti un buon elettroscopio a pagliette alla campagna aperta non dà segni elettrici, quando è posato sul suolo; ma sì all'altezza di 2 o 3 metri: anzi più in alto si porta, e più le liste divergono. L'altezza per altro, a cui comincia a vedersi la divergenza, è maggiore in vicinanza degli alberi, e degli edifizii. Si direbbe che la Terra fosse elettrizzata negativamente, e che le due elettricità in prossimità del suolo si trovassero neutralizzate a vicenda.

2ª *L'elettricità atmosferica è più forte in inverno, che in estate.*

3ª *La medesima giunge al massimo fra le 9 e le 10 antemeridiane, e fra le 6 e le 7 pomeridiane; i due minimi accadono qualche ora dopo il mezzogiorno e la mezzanotte.*

4ª *L'elettricità atmosferica talvolta cresce per più giorni,*

e poi diminuisce rapidamente. Dopo queste perturbazioni suole guastarsi il tempo.

5ª *A cielo piorno, e durante la pioggia sogliono aver luogo delle perturbazioni molto maggiori, e spesso si ànno segnali* —¹. L'apparire di questi è indizio sicuro di prossima pioggia.

6ª *La tensione elettrica della pioggia è ordinariamente* +², *ma enorme in confronto a quella del cielo sereno.*

* II. scolii. 1° A stabilire le sovraesposte leggi sulle varia-

Fig. 250.

zioni dell' elettricità atmosferica s' innalza in un luogo eminente un' asta conduttrice terminata in punta, o in una palla, e comunicante con un elettroscopio, che può essere assai utilmente quello di Bohnenberger. Se l'asta termina in palla, l'elettrico eteronimo a quello dell'atmosfera, nato dall'influsso, vi si ferma sopra; se poi in punta, la medesima facilmente si disperde. Ma in ogni caso a lungo andare sperdesi anche l'omonima: e però è utile che il conduttore sia mobile, e che in ciascuna osservazione venga sollevato di un buon

metro, e prontamente riabbassato. A questo modo esso caricasi istantaneamente, e la dispersione è un nonnulla 1.

2° Ma la tensione in caso di pioggia è così grande, che è mostrata anche dalle indicazioni galvanometriche. Ove un capo del filo di questo comunichi bene col terreno, e l'altro capo sia annesso al conduttore acuminato esposto all'aria libera, a ciel sereno o solo piorno non si veggono segnali, se non se nel caso che il detto filo sia lunghissimo e isolatissimo, e l'estremo dell'asta si elevi quasi un ettometro su-

Fig. 251.

gli oggetti circostanti. Ma quando piove, spesso si avverte l'esistenza di una corrente assai intensa.

3° Già abbiamo accennato (51. IV. 1°) che i fulmini e i lampi sono prodotti dall'elettricità atmosferica: ora possiamo aggiungere, che le varie forme, cui prende la scarica luminosa delle nubi in caso di temporale, sembra che dipendano principalmente dalla varia densità dei vapori, onde queste compon-

1 Le osservazioni dell'elettricità atmosferica si fanno in Roma periodicamente con molta diligenza, e con ottimi strumenti e risultati tanto nell'Università, quanto al Collegio: là dal prof. Volpicelli, e qui dal p. Secchi, ambidue notissimi nel mondo scientifico.

Digitized by Google

gonsi. Quando le nubi formano una massa compatta ed isolata, la scarica dee assumere l'aspetto di una scintilla ; ed ecco la folgore, o il fulmine. Quando poi le particelle vaporose costituenti la nube sono distanti fra loro, allora la luce riveste l'apparenza di un chiarore diffuso, o di baleno; come accade nei quadri scintillanti. Talora per altro il baleno proviene da una folgore, che scoppia o dietro le nuvole, o sotto l'orizzonte; e della quale per conseguenza a noi non giungono i raggi diretti, ma la sola luce diffusa dall'aria, e dalle nubi illuminate tutto ad un tratto dall' elettricità. I lampi di caldo possono spiegarsi o colla debolezza della scarica, e del suono che li accompagna, o colla poca densità e conseguente sonorità dell'aria, in cui ànno origine. Si dà anche ragione dei tuoni senza lampi col supporre, che questi non sieno da noi percepiti o per la luce del giorno, o per la interposizione di qualche assai densa nube. Finalmente a spiegare perchè il tuono sia talvolta prolungato, mentre l'esplosione dei nostri apparecchi elettrici è sempre istantanea, si è ammesso fin qui che ciò provenisse per le echi rinviate dalle nubi e dalle montagne. Ma allora i botti dovrebbero successivamente diminuire d'intensità; perchè i suoni più tardi percorrono più lungo spazio: come appunto avviene di quel mormorio, che segue o frapponsi ai rimbombi violenti. Perciò Hooke, fondandosi sulla grande estensione del lampo, à supposto, che una stessa folgore faccia diverse scariche (fig. 252.) successive su varie nubi (b,c,a) variamente distanti dall' osservatore.

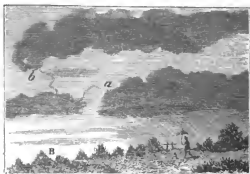



Fig. 252.

4° Avendo già parlato abbastanza del parafulmine (**53.** IV.7°), ci limiteremo ad aggiungere qui poche altre parole sul contraccolpo (**51.** III. 12°), e sugli effetti del fulmine. Questi sono in grande quegli stessi fenomeni meccanici, fisici, chimici, magnetici, e fisiologici delle scariche ottenute per mezzo delle batterie. Per la qual cosa se sui corpi esposti al fulmine si osservano talora le imagini indelebili di oggetti estranei, come sul cadavere del fulminato a Zante nel 1835 si trovarono le impronte delle monete, che esso avea indosso; ciò devesi alla proprietà che à l'elettrico di staccare delle particelle esilissime dai conduttori, cui trapassa, e trasportarle sopra un altro. Se nella via battuta dal fulmine ritrovansi le *fulguriti*, o *tubi fulminei*; questi si ànno da ascrivere alla forza, per la quale l'elettrico fonde i metalli, abbrucia ed infiamma i combustibili, vetrifica le sabbie e le sostanze silicee. Se in fine nelle pioggie temporalesche si ritrova l'acido nitrico, ed il fulmine lascia l' odore dell' ozono; ciò proviene dalla virtù chimica della elettricità. Quanto poi al contraccolpo, questo può aversi talvolta in un sito molto lontano dal fulminato, e mancare affatto nei siti prossimi. Dacchè per la configurazione o del suolo, o della nube (fig.253.) può non di rado avvenire, che un animale (A) si ritrovi più sottoposto all' induzione (B) di quelli, che stanno in vicinanza del luogo; in cui o per l'acuminatezza dell'edificio, o per la conducibilità delle sue parti sublimi, accade la scarica.

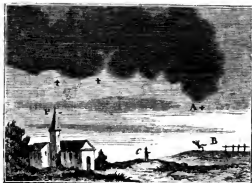



Fig. 253.

5° Abbiamo già fatto cenno della spiegazione delle stelle di Santelmo (**51.** IV. 2°), dell'aurore (fig.250.) polari (**51.** IV.3°),

e dell' esperimento (**61.** III. 12°), con cui Delarive conferma che queste meteore debbonsi all' elettricità. Il che non dee certamente sorprendere, visto la grande analogia fra i detti fenomeni e quelli che ottengonsi artificialmente. Ma quello, che riesce inaspettato, è la spiegazione delle trombe tratta dalle leggi elettrologiche. Essendo (a quanto si asserisce) apparse delle trombe (fig.251.) in mezzo alla più perfetta calma, si è principiato a dubitare della spiegazione proposta da Franklin, Muschenbroeck, Monge, ed altri, e da noi già esposta nella Sezione Prima di questa Parte (**48.** II. 5°); e si è ricorso alla elettricità. Ecco la spiegazione di Peltier. Una nuvola assai densa ed elettrizzata agirà per influenza sul suolo, ne sarà attratta, e tenderà ad abbassarsi; le si formerà quindi una protuberanza nella parte inferiore. La quale protuberanza, poichè le si accumula sopra (in ragione della sua forma e maggior vicinanza alla terra) una gran carica elettrica, rapidamente si allungherà in cono; e di nuovo l' influenza e l' attrazione aumenterà. Se ciò accade sul mare, l' acqua sarà sollevata; e, divisa in goccette per la ripulsione delle sue molecule, si slancierà verso il cono discendente. Se formasi sulla terra, i corpi leggeri ne saranno attratti; si getteranno verso il vertice del cono; e, dopo essersi scompartita l'elettricità, saranno respinti, e formeranno una nube di polvere. Allora, ricomponendosi le elettricità a traverso della tromba, cesseranno i tuoni. Ma una volta che la nube si troverà in comunicazione col suolo, gli oggetti terrestri saranno vivamente attratti, sollevati a grande altezza, e gettati lontano.

Fig. 254.

6° Pouillet à dimostrato che dall' acqua, contenente in soluzione dei sali, si sollevano vapori elettrizzati negativamente; intanto che il crogiuolo, in cui essi si formano, è elettrica-

mente positivo. Di più esso stesso à fatto vedere, che l'atto della vegetazione è accompagnato da svolgimento di elettricità. Perciò l'elettricità atmosferica fu attribuita all'evaporazione, ed alla vegetazione. Ma questa spiegazione è stata recentemente posta in dubbio; e Peltier, che à testè fatto tanti studii su tal soggetto, à negato perfino che l'aria contenga l'elettrico +°. Secondo lui i vapori formano uno strato —°, dentro il quale gli elettrometri rimangono in riposo: ma al di sopra di questo strato si vede l'elettrico +°, per la influenza, che soffrono gli strumenti dal —° sottoposto. Delarive ammette un'elettricità propria della Terra, dovuta alle azioni chimiche, le quali si operano nella superficie interna della crosta solida. Questa conserva il —°; ed il +°, spinto alla superficie superiore, è trasportato nell'atmosfera dai vapori, che continuamente vi si sollevano.

***71. Sorgenti fisiologiche.** — I corpi degli animali, come già (**55.** I.) accennammo, e le piante medesime dànno segnali elettrici, anche senza veruna cagione estrinseca, la quale gli elettrizzi. E fino dai tempi (a dir poco) di Platone i pescatori italiani e greci conoscevano un pesce, detto perciò da questi ναρκη, dai Latini *torpedo*, e da noi *tremola*, *torpedine*, o *torpiglia*; il quale, se sia toccato, rende intormentita e stupida la mano: fenomeno che può essere prodotto anche da altri pesci, e che da Muschenbroeck in qua è attribuito all'elettrico. Ora tutte queste cose appunto costituiscono le sorgenti fisiologiche.

Fig. 255.

I. PROPOSIZIONI. 1ª *Esiste sì nei muscoli, che nei nervi di tutti gli animali una elettricità, la quale si manifesta sotto forma di corrente.*

Dimostrazione. Dopo avere scorticata (fig.254.) una rana, si lasciano nudi i nervi lombari (N), staccandone la parte inferiore della colonna vertebrale (V), poi si piega una gamba (M) per metterne i muscoli in contatto coi nervi: all'istan-

Digitized by Google

te si osservano le contrazioni, Aldini à fatto un gran numero d'esperimenti di questo genere. Nobili (fig.255.) immergeva nell'acqua distillata di un vasello di vetro i nervi lombari, e in un altro simile le gambe di una rana appena uccisa e scorticata; poscia nei vaselli medesimi tuffava i capi (P, Q) dei fili del reometro, e ne otteneva una corrente diretta in questo dai nervi ai muscoli. Matteucci, fatta una incisione nel muscolo, introduce una estremità del filo del galvanometro al fondo della piaga, e l' altra estremità alla superficie del muscolo; e sorprende una corrente circolante nel reometro dall' esterno all' interno del muscolo. E ciò non solo nella rana, ma anche in diversi animali a sangue caldo: pecore conigli, piccioni, ed uccelli più piccoli. Bois-Reymond à trovato che anche i nervi, durante la loro vitalità, dànno una corrente sensibile, diretta nel filo congiuntivo, come nei muscoli, dalla superficie laterale, o dalla sezione longitudinale alla sezione trasversale. Valsh à provato che il dorso, ed il ventre della torpiglia posseggono elettricità contrarie; e Matteucci e Linari ne ànno tratto la scintilla. L'animale si stende (fig.256.) fra due piatti metallici isolati; e due pallette metalliche, comunicanti ciascuna con un diverso piatto, sostengono una incontro l'altra due listarelle d'oro. Premendo sul piatto superiore, per eccitare la torpedine, si vede una scintilluccia scoccare fra le due liste. Davy à ottenuto la deviazione di un ago calamitato, mettendo il reometro in comunicazione colla faccia dorsale e colla faccia addominale di una torpiglia, per una corrente che nel filo va dal dorso al ventre. Faraday à riconosciuto che la parte anteriore del ginnoto è +ᵃ, e la posteriore è —ᵃ; e colla corrente, che ne nasce, à ottenuto la scintilla, la deviazione dell'ago, le decomposizioni chimiche, e la volatilizzazione delle listarelle d'oro.

2ª *Le piante nel vegetare sviluppano elettricità.*

Dimostrazione. Pouillet in una camera chiusa e ben secca isolava dodici vaselli di vetro verniciato ripieni di terra umida, nella quale era seminato del grano; e l'interno dei vasi faceva comunicare col piatto del condensatore. Finchè il germe dei grani non usciva dalla terra, il condensatore non si caricava; ma appena quello appariva, questo si caricava di elettrico —ᵃ.

Forse l'elettrico +* si unisce all'acido carbonico ed al vapor d'acqua, che esalano dalle parti verdi della pianta. Donné à ottenuto delle correnti, intromettendo i fili di platino uniti al reometro, l'uno presso il picciuolo e l'altro all'estremità opposta di diversi frutti. Nei frutti ad acini la corrente va dal picciuolo all'occhio, all'opposto nei frutti a nocciuolo. Wartmann, Zantedeschi, e Becquerel ànno dimostrato l'esistenza di correnti elettriche nel tronco, nelle radici, e nelle foglie dei vegetali. Buff è riuscito alla stessa conclusione, evitando di mutilare o ferire le piante. Due vasi d'idrargiro ricevono i fili di platino chiusi in un tubo di vetro, e comunicanti col galvanometro; sull'idrargiro sta l'acqua, in cui passano le due parti del vegetale, delle quali si vuole confrontare lo stato elettrico. Così facendo, à trovato che in generale le radici e tutte le parti interne delle piante, le quali sono ripiene di succhi, sono —*, in rapporto alle superficie esterne, più o meno umide. Pouillet calcola, che dalla superficie di un ettometro quadrato si svolga ciascun giorno una copia di elettrico, sufficiente a caricare una forte batteria.

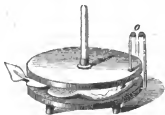



Fig. 256.

II. DEFINIZIONI. 1ª Si dice *corrente muscolare* l'elettricità, che circola in un muscolo dall'interno all'esterno.

2ª È detta *nervosa* quella, che corre in un nervo.

3ª La corrente, che va di una in altra parte diversa del corpo degli animali, per esempio dai muscoli ai nervi nell'interno dell'animale, viene chiamata *corrente propria degli animali*.

4ª Sono chiamati *pesci elettrici* quelli, che dànno commozioni a chi li tocca.

5ª Quell'apparecchio naturale, da cui nei pesci elettrici si svolge l'elettricità, à nome *organo elettrico*.

III. LEGGI. 1ª *Quanto è più energica l'azione, cui un muscolo è destinato a concepire, e tanto è più intensa la sua corrente.* I muscoli del cuore dànno una forte corren-

te; ma quelli, che circondano gli intestini, la dànno assai debole.

2° *L'intensità delle correnti muscolari diminuisce molto, allorchè i muscoli soffrono qualche contrazione.*

3° *Nelle correnti nervose la diminuzione d' intensità à luogo nell'istante, in che i nervi trasmettono un movimento, oppure producono una sensazione.*

IV. SCOLII. 1° Il cangiamento di stato elettrico dei muscoli per la contrazione può reagire sopra una rana: perchè posandone i nervi sui muscoli, ogni volta che questi si fanno contrarre, la rana si scuote. Fenomeno scoperto da Matteucci, e conosciuto sotto il nome di *contrazione indotta*.

2° Bois-Reymond avendo introdotto nel circuito del reometro le due membra inferiori di una rana, non ne à ottenuto corrente di sorta; ma determinando delle contrazioni tetaniche in una gamba (coll'eccitare il nervo che vi si reca) ne ebbe una corrente diretta nel filo dal membro contratto all'altro. Dapprima veramente le due correnti si distruggevano a vicenda nelle due gambe; ma, essendone rimasta indebolita una per la contrazione, apparve l'altra. Si tuffino le dita delle due mani in due vasi separati di acqua salsa, in cui peschino le lamine di platino comunicanti col filo del reometro. Quando l'ago è quieto, si contraggano quanto si può i muscoli di un braccio, stringendo forte un' asta di legno, senza muovere le dita: allora apparisce una corrente diretta nel galvanometro dal braccio non contratto all'altro.

3° Quest'ultima sperienza è stata allegata per provare l'esistenza delle correnti muscolari nell' uomo vivo. Checchè sia di ciò, certo è che lo stato elettrico di un animale vivo, anche senza veruna cagione estrinseca, può venire alterato dassai.

4° Gli animali, dei quali non può recarsi in dubbio l'elettricità, sono i pesci elettrici. Se ne conoscono 8 specie: quattro famiglie di torpedini assai comuni nel Mediterraneo, ed in altri mari europei; il ginnoto elettrico, o anguilla del Surinam, il siluro elettrico, che trovasi nel Nilo e nel Senegal, il tetraodo elettrico, ed il trichiuro elettrico, che abitano i mari delle Indie. Tutti sono privi di scaglie, e ri-

coperti di una muccosità conduttrice; e tutti sono forniti dell'organo elettrico.

5° L'organo elettrico nella torpedine è collocato tra le branche e le pinne pettorali dall'una e dall'altra parte della testa. Esso (fig. 257.) componesi di 940 elettromotori, o meglio condensatori elettrodinamici, costituiti da altrettanti tubetti prismatici riuniti uno all'altro, come le cellule di un favo di mele; ognuno dei quali è formato di circa 2000 diaframmi nervosi disposti perpendicolarmente all'asse del tubo, e separati fra loro da una sostanza albuminoide. Ciascun condensatore è +° nell'estremità rispondente al dorso dell'animale, e —° in quella che guarda il ventre. Toccando un punto qualunque del pesce o dell'acqua che lo circonda, si risente una commozione, che stordisce, ed è analoga a quella che si soffre quando, urtando col gomito, resta compresso il nervo cubitale.

Fig. 257.

6° Anche l'organo elettrico del ginnoto è composto di simili tubettini, ma questi non sono disposti trasversalmente, come nella torpedine, ma dirigonsi dalla testa (nella qual parte mostransi +[1]) alla coda (verso cui sono —[1]). E però quando l'animale, che è fatto a guisa di serpente e può esser lungo quasi tre metri, s'incurva, e scarica il suo apparecchio; l'acqua compresa fra la testa e la coda è percorsa da una corrente capace di uccidere i pesci. La forza elettrica del ginnoto è assai grande. Humboldt asserisce di essere rimasto per un giorno indolito in quasi tutte le giunture, per aver messi i piedi sopra un ginnoto.

7° Le scariche dei pesci elettrici si considerano come volontarie, non certo quanto alla direzione, ma perchè essi servonsi della loro batteria quando ne sentono l'istinto. Se non che, se il pesce venga stimolato ad usarne con forza e con frequenza, rimane indebolito; e conviene che prenda riposo, affinchè le sue funzioni si ristabiliscano.

***72. Teorica dell'elettricità.** — Già abbiamo (**47.** I.8°) accennato che alcuni, trasportando alla realtà ciò, che secondo le apparenze è verissimo, ammettono l'esistenza di due

fluidi elettrici sostanzialmente diversi; ed altri pensano invece di potere spiegare tutti i fenomeni con un fluido solo. Abbiamo inoltre annunciato (**51.** I.1°) che dal modo, in cui sembra doversi concepire l'influsso dei coibenti, Faraday avea ricavato la teoria della polarità elettrica. Or questa viene al presente proposta per ispiegare le correnti. È tempo adunque che entriamo a dire qualche cosa di più esplicito su tutti questi argomenti.

I. DEFINIZIONE. Si chiamano *scariche intermoleculari* quelle, che ànno luogo non da un corpo ad un altro, ma da una in altra molecula di un medesimo corpo, o coll'apparenza di luce, o anche senz'essa.

II. SCOLII. 1° I dualisti suppongono ripulsione fra le particelle di fluido elettrico della stessa qualità, ed attrazione fra le particelle del vitreo e quelle del resinoso; e questo lor basta. Secondo essi, questi due fluidi, per la loro mutua attrazione, tendono continuamente a combinarsi insieme nelle proporzioni necessarie per comporre il fluido neutro: e quando ciò sia avvenuto, il corpo, che li possiede, sta allo stato naturale. Se poi, per l'azione di qualche sorgente elettrica, uno dei due fluidi eccede la debita proporzione, il corpo si mostra elettrizzato vitreamente, o resinosamente. L'influenza è la decomposizione del fluido neutro per l'attrazione fra i fluidi contrarii, e la ripulsione degli omologhi; azioni che si esercitano a distanza, ed anche a traverso i dielettrici. I corpi leggieri si appressano agli elettrizzati, perchè prima restano influiti, ed elettrizzati (almeno nel lato prossimo agli influenti) della elettricità contraria. La scarica è la combinazione violenta dei due fluidi a traverso un coibente, cui frangono.

2° Secondo gli unitarii, l'elettrico è un fluido *sui generis*, le cui molecule ànno grande attrazione pei ponderabili, ma si respingono mutuamente, come respingonsi fra loro le molecule dei ponderabili medesimi. Lo stato naturale è il possesso di una dose di elettricità connaturale al corpo, la positività è un' esuberanza, la negatività è una deficienza. Lo svolgimento è una distribuzione ingiusta, dovuta a ciò: che le sorgenti elettriche dànno ad un corpo il fluido che tolgono ad un altro; e così questo resta in difetto, e quello tro-

Digitized by Google

vasi in eccesso. L'influenza proviene dalla ripulsione, che l'elettrico naturale del corpo influito soffre per parte dell'elettricità dell'influente; oppure proviene dall'attrazione, che le molecule ponderabili del corpo influente —° esercitano verso l'elettrico naturale dell'influito. Se i corpi leggieri sono attratti dagli elettrizzati, ciò avviene perchè precede l'influsso, e quindi succede attrazione fra il ponderabile e l'imponderabile. La scarica si deve allo sforzo, che esercita l' elettricità abbondante, per andare ad unirsi alle particelle ponderabili che ne difettano, e togliersi dalla presenza dell'altro elettrico, da cui rifugge.

3° Venendo alla teorica di Faraday, egli è certo che (**51.** I. 2°) il coibente, interposto fra l'influente e l'influito, à gran parte nel fenomeno dell' induzione. Ora Faraday considera il coibente come necessario all'induzione; e, secondo lui, questa non à luogo se non in sèguito ad una decomposizione moleculare dell'elettrico neutro, la quale si propaga di mano in mano con un'estrema rapidità, appunto come avviene nei quadri scintillanti (fig.258.). Così tutto si riduce a polarità elettrica. Lo stato elettrico di un corpo suppone all' esterno dei corpi coibenti o deferenti elettrizzati contrariamente. Quindi l' accumulazione dell'elettricità alla superficie dei corpi sarebbe apparente: l' elettrico nel loro interno non si rinviene, perchè ivi le particelle si neutralizzano scambievolmente; ma alla superficie diviene sensibile, perchè riceve l'induzione dei corpi circostanti. Sui punti sporgenti si veggono effetti più energici, perchè tali punti sono esposti alle induzioni esterne in un maggior numero di direzioni. Allora l'induzione è molto forte, ed accadono nell' ambiente delle scariche moleculari, che formano un pennello luminoso. Finalmente i corpi omonimamente elettrizzati fuggono non per la ripulsione del fluido che posseggono, ma per l' attrazione delle molecule polarizzate del mezzo ambiente, o dei corpi circostanti.

Fig. 258.

4° È un fatto che l'intensità, e le proprietà della corrente sono le medesime in tutti i punti del filo, per cui scorre l'elettrico; e sebbene esso travalichi delle migliaia di kilometri, a

Digitized by Google

qualsivoglia distanza dall'apparecchio si ottengono gli effetti stessi. La qual cosa sembra incompatibile colla supposizione di un trasporto reale delle elettricità a traverso i conduttori. Perciocchè in questa ipotesi vi sarebbe abbondanza di elettricità +ᵉ presso il polo +ᵒ, e di —ᵉ presso l'altro; e lo stato neutro nel mezzo del filo. Ecco il perchè presentemente si ama ricorrere alla polarità elettrica. In questo sistema le elettricità, che recansi ai poli della pila, elettrizzano per influenza le molecule prossime del filo congiuntivo. Queste molecule così polarizzate operano sulle molecule seguenti, e le polarizzano alla lor volta, e così di mano in mano, come nei tubi o quadri (fig. 259.) scintillanti. Tale polarizzazione accade tanto nei deferenti, come nei coibenti (**54.** I.). Ma in questi (ove si eccettui il caso di grandi tensioni), le elettricità separate nelle molecule non possono uscire, travalicando lo spazio che le separa. In quelli invece l'elettrico passa agevolmente da una

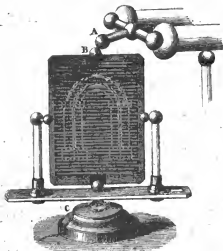



Fig. 259.

molecula all'altra, producendo in ciascuna delle piccole scariche, ed è appunto per questa serie di scariche intermoleculari, le quali succedono allo stesso modo in tutte le sezioni del conduttore, ed in tutta la estenzione di una sezione medesima, che si propaga l'elettricità. Si concepisce allora assai bene, che deve esistere una resistenza alle scariche intermoleculari; che questa resistenza dee dipendere dalla distanza delle molecule ponderabili, e dalla facilità, onde in queste si effettua la induzione; e che però la conducibilità dev'esser varia secondo la varietà delle sostanze, e della loro temperatura, e minore sem-

Digitized by Google

pre ove il fluido debba traversare conduttori più lunghi, e sezioni costituite da un minor numero di particelle. Inoltre si spiega, come la corrente riscaldi i conduttori. Ciò avverrebbe per la difficoltà, che incontra l'elettrico a passare da una molecula alla seguente: e però ogni soluzione di continuità aumenta il riscaldamento, e l'incandescenza; e la fusione è più facile nelle superficie di separazione, che lungh'esso il filo.

5° Delarive à fondato sullo stesso principio una semplice, ed elegante spiegazione delle correnti indotte. La (fig. 260.) serie delle molecule (AB), nelle quali si slancia una corrente, in virtù delle continue scariche intermoleculari, è tenuta in uno stato permanente di polarizzazione. Il perchè, appressando loro un conduttore diselettrizzato (A'B'), in ciascuna

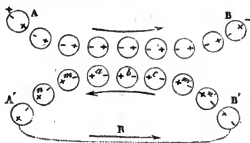



Fig. 260.

particella ($a, b, \dots m, n$) di questo succede l'influenza; nelle prossime (a, b, c) per l'azione del conduttore elettrizzato, nelle remote (n, m, m', n') per l' influsso delle molecule stesse del conduttore indotto. Le molecule estreme (m, m') della parte influita si scaricheranno mutuamente; e così produrranno, nella parte (A'RB') non indotta del circùito chiuso, una corrente istantanea in senso inverso della induttrice. Perciò la parte non influita (mRm') ritorna immediatamente allo stato naturale; ma l'altra (mbm') resta polarizzata, e non è percorsa da veruna corrente: perchè l'elettrico è ritenuto in equilibrio dall'influsso perseverante delle molecule (AB) induttrici. Ove per altro sopprimasi la corrente induttrice, le molecule polarizzate (m, a, b, c, m') ritornano allo stato naturale; ma quelle(m, m')

che stanno agli estremi, non avendo più che una sola elettricità a testa (+° in m', e —° in m), dànno luogo alla ricomposizione a traverso la parte esterna (mA'RB'm'), formandovi una corrente istantanea dello stesso senso dell' induttrice. Ecco la ragione per cui la resistenza è maggiore per la corrente inversa, che per la diretta: la prima deve vincere tutte le resistenze del circùito, la seconda non à da vincere che la resistenza delle parti non indotte. Se poi il circùito indotto non fosse chiuso, non si potranno certo ottenere le correnti; ma le estremità (m,m') del filo indotto si mostreranno cariche di elettricità eteronime, colle quali potrà caricarsi un condensatore, od ottenersi una scintilla, se l' interruzione è breve. Finalmente, posto che la distanza fra il circùito influente e l'influito venga (come nel caso del magnetismo di rotazione) a poco a poco a diminuire, la corrente indotta sarà continua: perchè le elettricità, separate dall'influsso, aumenteranno gradualmente nella parte indotta, e le scariche alle estremità di questa continueranno a produrre un flusso di elettricità nella parte remota (mRm'). Inoltre la tensione della corrente indotta sarà tanto più grande, quanto il movimento sarà più rapido; perchè la medesima quantità di elettrico circola (in R) in un tempo più breve. Che se invece il movimento sarà lentissimo, la corrente potrà riuscire impercettibile, come à esperimentato Wartma in.

6° Ma la corrente è proprio una serie di scai che intermoleculari prodotte da uno o due fluidi, che s riuniscono fra loro, o alle particelle dei ponderabili; oppur è un semplice movimento vibratorio delle particelle stess costituenti il reoforo? Non potrebbe dare appoggio a quest idea il *suono elettrico*, che si manifesta nei fili telegrafici e nelle sostanze magnetiche al momento della calamitazi e, facendo passare una corrente discontinua in grossi fili d etallo non magnetici, circondati da un' elice trascorsa da a corrente continua? Perchè nell'attrito, pressione, percu ne, o solo riscaldamento i due fluidi si disuniscono, od uido unico abbandona un ponderabile per gettarsi sull'alt Com' è che non si diselettrizza un conduttore nel vuoto, tre l' elettrico tanto più facilmente si disperde, quanto mbiente è

più rarefatto? E le particelle del fluido come e perchè attraggono le loro compagne, e respingono le contrarie? La fatica danaidea di rispondere a questi quesiti se la prendano quei Fisici estranii, i quali da poco tempo in qua si sono dati arrogantemente a negare, che nelle scienze naturali vi sieno de' misteri; ed i quali pettoruti e tronfii ci annunciano (mostrando con ciò stesso di non aver capito la questione) che con certe, non sappiamo bene quali, molle spirali imponderabili l'attrazione, non che dell'elettrico, terrestre ed universale è bella e spiegata. Noi dubitando forte che sulle proposte controversie possano neppure i posteri pronunciare l'ardua sentenza, e tenendo per fermo che sempre rimarranno a sciogliersi inestricabili difficoltà; amiamo riconoscere la nostra ignoranza, e ci guardiamo dall' inorgoglirci per le scoperte, al certo sorprendenti, fatte in questi ultimi tempi, massime sull' elettricità dinamica. Ringraziamo invece l' Onnipotente, che à riserbato anche al nostro secolo, come riserba ai secoli avvenire, le pure gioie dei nuovi trovati; i quali, allorchè la grandezza dei fenomeni, cui assistiamo fin dalla nascita, à perduto per noi ogni attrattiva, tornano opportuni per iscuoterci, e per risvegliare il nostro spirito all' ammirazione delle portentose opere del Creatore.

Digitized by Google

CAPO TERZO.

CALORICO.

*** 73. Oggetto e partizione del presente Capitolo.** — Eccoci finalmente a trattare del terzo imponderabile, vale a dire del calorico, in altri termini del fuoco considerato in quanto riscalda. Di questo già conosciamo gli effetti, che sono dilatare i corpi, fargli cangiare di stato, e determinarne all'atto le chimiche affinità. Rimane ora che imprendiamo a studiarlo in sè medesimo. Poichè per altro alcune leggi di questo agente fisico sono connesse al suo trascorrere, od accumularsi sopra i ponderabili, ed altre si riferiscono al caso, in cui esso si slancia da un ponderabile all'altro senza modificare, od avere in appoggio i corpi intermedii; così in un primo Articolo, premesse le nozioni più fondamentali, tratteremo delle leggi del primo caso; e di quelle relative all'altro caso, non che delle sorgenti calorifiche terremo discorso nel secondo ed ultimo Articolo.

ARTICOLO I.

NOZIONI FONDAMENTALI, E CONDUCIMENTO.

74. Il calorico, e le sensazioni di caldo e freddo. — I. SCOLII. 1° Tutti sanno che, esponendoci ai raggi diretti del Sole, od appressandoci al fuoco, o toccando un metallo, che sia stato lungamente esposto ai raggi solari, noi risentiamo la sensazione di calore. La cagione immediata di questa è l'azione del nostro corpo sull'animo: ma il corpo opera, perchè reagisce ad una alterazione che soffre; e tale alterazione è prodotta da qualche cosa, la quale risiede nel Sole, nella fiamma, nel metallo.

2° Nessuno parimente ignora che il Sole, ed il fuoco riscaldano, perchè posseggono da sè la cagione di tale effetto; mentre una sbarra di ferro in tanto può fare la cosa medesima, in quanto fu per qualche tempo esposta all'azione del fuoco o del Sole.

3° È parimente cosa notissima che, toccando certi altri corpi, come sarebbe per esempio il ghiaccio, sentiamo freddo; vale a dire una particolare sensazione, cui riteniamo per opposta a quella di caldo. La quale opposizione consiste solo in ciò, che una corregge l'altra.

II. DEFINIZIONI. 1ª La cagione, che modifica il nostro corpo, allorchè questo è determinato ad imprimere nel nostro animo la sensazione di caldo, chiamasi *calorico*.

2ª Il corpo stesso, che ci riscalda, è chiamato *caldo;* e *freddo* è detto quello, che dà la sensazione dello stesso nome.

3ª Fra i corpi caldi quei, che posseggono da sè il calorico, come il Sole e la fiamma, son detti *sorgenti di calorico.*

4ª Chiamansi poi *riscaldati* quelli, i quali, come i metalli esposti ai raggi solari, riscaldano, perchè furono essi stessi riscaldati da altri.

III. PROPOSIZIONE. *Il caldo ed il freddo sono proprietà puramente relative.*

Dimostrazione. Si tenga per alquanto tempo una mano, per esempio la destra, tuffata nell'acqua calda, e l'altra nella fredda; e poi ambidue le mani s'immergano in un miscuglio formato di acqua calda, e di acqua fredda in porzioni uguali. È un fatto che quest'acqua tepida ci apparisce calda per la mano sinistra, e fredda per la destra. Ma col tenere dapprima le mani in quei due vasi separati, certamente la destra si riscaldò, e la sinistra si raffreddò. Dunque il caldo ed il freddo sono del tutto relativi allo stato anteriore del nostro corpo.

IV. COROLLARII. 1° Dunque la cagione del freddo non è diversa da quella del caldo. Avvegnachè la stessa acqua, che apparisce fredda alla mano destra, è calda per la sinistra. Cade quindi l'ipotesi del *frigorico*, come una sostanza affatto diversa dal calorico, e dotata della forza di imprimere le sensazioni di freddo. Questo non è altro che l'effetto di una minor dose relativa di calorico.

2° Dunque noi diciam caldo quel corpo, che è più caldo del nostro, e freddo quello che lo è meno. Infatti l'acqua tepida non per altra cagione apparisce calda alla mano sinistra, e fredda alla destra.

3° Dunque le nostre sensazioni non possono darci l'indicazione della temperatura relativa dei corpi. Già nella Sezione Prima (**18.** I. 13ª) abbiamo appreso, che la quantità di riscaldamento di un corpo chiamasi temperatura. Ora poichè un corpo men caldo di un altro può sembrarci che lo sia più; le sensazioni nostre, oltre che (come accade di tutte le sensazioni) non potranno misurare il grado preciso della temperatura, non gioveranno neppure a rivelarci con certezza quale di due corpi sia più caldo, e quale meno; se non nel caso che ambidue sieno esplorati nelle medesimissime circostanze, cioè colla stessa mano, uno subito dopo l'altro, ecc.

75. Propagazione del calorico da un corpo ad un altro. — I. scolii. 1° È cosa notissima che un corpo freddo riscaldasi in presenza di uno caldo, e viceversa. Dunque ogni corpo caldo cede porzione del suo calorico ai corpi freddi circostanti. Ora noi abbiamo già veduto, che la mano divenuta fredda trova calda quella stess' acqua, che apparisce fredda toccata colla mano divenuta calda. Possiamo dunque dire che quel corpo ci apparisce più caldo, che dà a noi maggior quantità di calorico in un dato tempo; e quello ci si manifesta più freddo, che toglie a noi più calorico nel tempo stesso.

2° Non è uno solo il modo, che tiene il calorico per passare da un corpo ad un altro. Perciocchè, scaldando un corpo da una sola parte, spesso avviene che il calorico di molecula in molecula si propaghi anche nelle altre parti, o si comunichi a qualche altro corpo, che tocca quello riscaldato. Ma accade eziandio che, ponendo un corpo freddo a distanza da uno caldo, quello si riscaldi, ad onta che ambidue stieno nel vuoto, o che il mezzo (per esempio l' aria), in cui sono entrambi sommersi, non partecipi al riscaldamento; come il calorico del Sole riscalda la Terra, senza riscaldare del pari l' atmosfera.

3° Si avverta inoltre come dalle cose esposte risulti, che i corpi tendono all' equilibrio della temperatura. Veramente noi troviamo il legno sempre men fresco dell' acqua, e del marmo; ed una moneta tenuta in tasca suole mostrarcisi più calda della carta, in cui per avventura è racchiusa. Ma que-

ste sono illusioni provenienti dall' uso di un fallace indicatore delle temperature, quale suole essere la sensazione nostra. Ed in vero un corpo più levigato, come suol essere il marmo, o liquido come l' acqua, il quale offre perciò più punti al contatto della nostra mano; un corpo, che più facilmente si riscalda, vale a dire trae più calorico dai corpi circostanti, come avviene del marmo e dell' acqua in confronto al legno, e meglio anche dei metalli per riguardo alla carta; un corpo tale, se è più freddo del nostro, dee in ciascuna unità di tempo toglierci assai più calorico, e sembrare più freddo; se poi è caldo, deve somministrarcene assai di più, ed apparirci più caldo di quello che sia in verità. Avvegnachè un tal corpo dee imprimerci sensazioni più vivide; dipendendo la vivezza di queste dalla maggior copia di calorico, che il corpo nostro in un tempo dato acquista o cede. D'altra parte si rifletta che l'equilibrio delle temperature più che un fatto è una tendenza: perchè mille cagioni concorrono a disturbarlo.

II. PROPOSIZIONE. *La velocità di raffreddamento o di riscaldamento di un corpo dentro certi limiti, è proporzionale alla differenza della sua temperatura con quella dell' ambiente.*

Dimostrazione. Newton ammise *a priori* questa legge; la quale è stata recentemente confermata dalle sperienze di Krafft, Richmann, Leslie, e Dalton. In un recipiente vuoto (perchè sta in comunicazione colla campana pneumatica), ed immerso in un bagno d'acqua mantenuta a temperatura costante, si introducono successivamente dei termometri dotati di temperatura diversa; e si notano le variazioni di temperatura in ciascun minuto secondo. Il risultato è quello sopra enunciato. Si è detto *dentro certi limiti*; perchè Dulong e Petit ànno verificato che la legge non è esatta, che per differenze di temperatura inferiori a 20°.

III. COROLLARII. 1° Dunque la temperatura di un corpo, esposto ad una sorgente costante, non può alzarsi indefinitamente. Imperocchè la quantità di calorico, che esso riceve in tempi uguali, è sempre la stessa. Ma quella, che perde, cresce col crescere dell'eccesso della temperatura su quella dell'ambiente. Dee per conseguenza giungere un momento, in cui

la quantità di calorico in ciascuno istante perduta uguagli quella acquistata; e allora la temperatura dovrà rimanere stazionaria.

2° Dunque la temperatura, indicata da un termometro differenziale, è proporzionale alla quantità di calorico da esso ricevuta. Giacchè nella supposizione, che uno dei bulbi del differenziale sia esposto ad una temperatura costante, dapprima lo strumento deve indicare delle variazioni di temperatura, ma dopo il suo indice diviene stazionario; cioè la quantità di calorico, che il bulbo riceve, uguaglia quella, che perde. Ora la quantità di calorico, che un corpo perde, è proporzionale alla differenza fra la sua temperatura e quella dell'ambiente; cioè al numero dei gradi segnati dal termometro. Dunque ecc.

IV. DEFINIZIONI. 1ª Il passaggio del calorico di molecula in molecula dicesi *conducimento*.

2ª Il calorico stesso, quando si propaga per conducimento, riceve l'epiteto di *repente* o *condotto*.

3ª La facilità, che offre un corpo al conducimento del calorico, è chiamata *facoltà conduttrice*.

4ª I passaggi del calorico da un corpo ad un altro, o nel vuoto o a traverso qualche corpo, che non si riscalda perciò, à nome *raggiamento*.

5ª Al calorico medesimo, quando si slancia intorno per raggiamento, si dà l'aggettivo *raggiante*.

6ª La proprietà di certi corpi, di lasciare sfuggire il calorico per raggiamento, è nominata *potere emissivo*, o *raggiante*.

7ª Dicesi *velocità di raffreddamento* o *di riscaldamento* il grado di temperatura, che un corpo perde o acquista in un istante così breve, da potere in esso ritenere per costante la temperatura.

8ª La legge sopra esposta vien chiamata *legge di Newton*, o *del raffreddamento*.

76. Effetti del calorico sui vapori. — A quello, che è stato detto nella Sezione Prima sulle dilatazioni calorifiche, rimane ad aggiungere qualche altra cosa intorno alla forza elastica dei vapori propriamente detti, di quelli cioè che sono facilmente liquefacibili.

I. LEGGI. 1ª *Nel vuoto i liquidi volatili evaporano istantaneamente.* Si prendano (fig.261.) quattro canne da barometro (A,B,C,D), una (A) delle quali si empia di idrargiro, e le altre tre (B,C,D) riempiansi con quasi altrettanto idrargiro, e con una piccola (ma in tutte uguale) quantità di un liquido volatile; cioè di acqua nella seconda (B), nella terza (C) di acquarzente, di etere nella quarta (D). Dopo, tutte e quattro le canne capovolgansi in un bagno di idrargiro, col metodo torricelliano. All'istante sparisce il liquido aggiunto, e non si vede altro che idrargiro.

2ª *I vapori dei diversi liquidi non ànno alla temperatura medesima la stessa forza espansiva.* Nei tre tubi dell'esperienza testè allegata, nei quali per la sua leggerezza il liquido aggiunto all'idrargiro era salito sopra questo, il livello dell'idrargiro medesimo è più basso che nel primo tubo (A) che fa da barometro; è anche più basso (in C) dove fu posta l'acquarzente, che in quello (B) ove si mise acqua; e più di tutti in quello (D), che contiene l'etere. Ora tal depressione non è certamente dovuta al peso del liquido aggiunto al mercurio: dacchè tal peso non è che una frazione di quello dell'idrargiro spostato. È dunque la diversa forza elastica dei vapori, in cui sonosi convertiti quei liquidi, la cagione della depressione. Ma questa è diversa per ciascun liquido. Dunque è vera la legge, la quale si sarebbe potuta anche inferire da quell'altra, la quale dice che ciascun liquido à il suo proprio punto di ebollizione; ossia è diversa in ciascuno la temperatura, alla quale la sua forza elastica uguaglia la pressione atmosferica.

Fig. 261.

3ª *Le forze espansive dei diversi vapori sono le stesse ad uguale distanza dai punti di ebollizione dei liquidi, che li producono.* Questa legge, che è data con molta approssimazione da vari fatti, s'intende con facilità, quando siasi compresa la dimostrazione dell'antecedente.

Fig. 262.

4ª *La espansività dei vapori cresce e cala colla loro temperatura.* Infatti, stando ai risultati ottenuti da Regnault, la tensione del vapor d'acqua a — 10° è uguale a quella di 2 millimetri di mercurio a 0°; a 0° è 4,6; a 10° è 9,16; a 20° è 17,39; a 30° è 31,54; a 40° è 54,9; a 50° è 91,98; a 70° è 235; a 90° è 500,25; a 100° è 760, ossia un'atmosfera; a 120° è 2 atmosfere; a 144° ne vale 4; a 170° ne uguaglia 8; a 200° ne bilancia 16; a 225 vale 26; e si calcola che a 445° debba avere la tensione di 500, ed a 517° una forza uguale a ben mille atmosfere. Quanto ai vapori degli altri liquidi la legge è dimostrata da fatti analoghi; e la misura delle tensioni può dedursi, secondo la legge antecedente, da quella del vapore di acqua.

5ª *In uno spazio chiuso tenuto a temperatura costante, saturo di vapore, e contenente liquido in eccesso, vi è una tensione massima, cui il vapore non può oltrepassare sotto qualunque pressione.* A dimostrare questa legge si usa un tubo barometrico (fig. 262.) tuffato in una vaschetta assai alta. Avendo fatto passare in questo tubo, dapprima pieno di idrargiro, una quantità di etere bastante a far sì che, quando la canna barometrica è satura del suo vapore, ve ne resti ancora in eccesso; si nota sulla scala graduata l'altezza dell'idrargiro nel tubo. Ora

Digitized by Google

sia che si tuffi di più il tubo, e così il vapore comprimasi; sia che si sollevi, e il vapore si espanda; l'altezza della colonna mercuriale è sempre la stessa. Dunque il vapore conserva una tensione costante. Il che avviene perchè il vapore, quand'è più compresso, in parte si liquefà, quando lo è meno, cresce in quantità, formandosene dell'altro; e quindi la densità rimane la stessa.

6ª *In due vasi comunicanti, contenenti il medesimo liquido in eccesso e a temperature diverse, la tensione è la stessa, e precisamente quella dovuta alla più bassa delle due temperature.* In un vase (A) contengasi acqua mantenuta a zero dal ghiaccio (fig. 263.); e in un altro (B) sia acqua bollente.

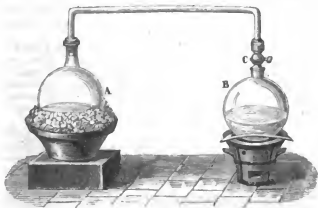



Fig. 263.

Finchè i vasi non comunicano, là vi è la tensione di millimetri 4,6, e qua di 760; ma appena si apre la chiavetta (C), che li mette in comunicazione, il vapore caldo (B) si precipita nel freddo (A), e vi si condensa. Poichè quest'ultimo è mantenuto a zero, succede una continua distillazione; ma la tensione è da per tutto 4,6.

II. SCOLII. 1° L'enorme forza, che acquista il vapor d'acqua, è stata assai utilmente applicata nelle così dette *macchine* [1] *a*

[1] Sono le macchine a vapore uno di quegli oggetti, i quali non potrebbero senza disdizio a giorni nostri completamente ignorarsi da una persona colta. Diamone dunque almeno una succinta descrizione.

Digitized by Google

vapore, le quali da non molto in qua vuoi negli stabilimenti delle manifatture, vuoi nelle tipografie, vuoi nei legni di mare, vuoi nelle strade ferrate recano immensi vantaggi alle arti, ed al commercio.

Il Marchese di Worcester nel 1663 propose un meccanismo, col quale si pretendeva di impiegare la forza del vapore per sollevare l' acqua.

Poco dopo Papin inventò il suo digestore; e nel 1690 publicò la descrizione di un esperienza fondamentale, che contiene lo stesso principio delle macchine a fuoco, le quali si adoperano al presente; ed espose le applicazioni, che se ne potevano fare. Anzi il medesimo fece eseguire una macchina con stantuffo, per far andare un battello colle ruote a palette. Otteneva che si sollevasse lo stantuffo col lasciar correre sotto di esso il vapore, che si formava in una caldaia. Affinchè poi lo stantuffo medesimo si riabbassasse, vi faceva iniettare sotto dell' acqua fredda, così il vapore si liquefaceva, si formava un vuoto, e la pressione atmosferica premeva lo stantuffo medesimo.

Nel 1698 il capitano Savary costruì una macchina per sollevar l'acqua. Esso adoperava il vapore prima per farlo condensare in un recipiente comunicante col tubo d' aspirazione, e farvi per conseguenza aspirare l' acqua; e poi per premere, e fare ascendere quest'acqua medesima nel tubo d' ascensione; e tutto ciò per mezzo di due valvule acconciamente disposte. Ma per tal macchina si esigeva vapore di una tensione enorme, trattandosi di miniere molto profonde.

Newcomen, artista di Dartmouth, concepì l'idea di servirsi delle trombe ordinarie, e di metterle in movimento col sistema o stantuffo di Papin. Si associò ad un altro artista Cawley, e poi con Savary; e nel 1705 costruì la prima macchina, che sia stata adoperata con successo ad asciugare le miniere, e che è conosciuta sotto il nome di *macchina atmosferica*. Un corpo di tromba (fig.264.) munito di un grande stantuffo (S) comunica al suo fondo colla caldaia, in cui si forma il vapore; e l'asta dello stantuffo è attaccata, per mezzo di una catena, ad una leva assai forte chiamata *bilanciere* (BB'), di cui l'altra estremità (B) sostiene l'asta della tromba, che si vuol fare agire. A quest' asta medesima era annesso un grosso peso (P), capace di sollevare quasi da sè lo stantuffo grande (S). Per la qual cosa il vapore, a temperatura non molto alta, poteva intromettersi sotto lo stantuffo grande, e compir l' opera, alla quale non era sufficiente il contrappeso (P); e così il piccolo stantuffo della tromba veniva ad essere abbassato. Allora iniettando dell'acqua nella parte inferiore del cilindro, in cui giuocava lo stantuffo grande, si faceva qui il vuoto, e la pressione atmosferica spingeva in basso lo stantuffo medesimo (S), ed in alto quello della tromba con tutto il contrappeso (P). Da principio il raffreddamento si operava, facendo passare una corrente d' aria in un inviluppo esteriore, che racchiudeva il cilindro. Ma poi l' ingresso accidentale dell' acqua nel cilindro, per un piccolo foro apertosi nello stantuffo, avvisò gli inventori, che era meglio iniettare l'acqua

2° Dopo quanto abbiamo detto sulla forza dei vapori assai riscaldati, riuscirà difficile a spiegare come un liquido possa

fredda nel cilindro medesimo. Come pure dapprima il movimento delle due chiavette, destinate a far entrare alternamente il vapore e l'acqua fredda, era fatto a mano. Ma un giorno un ragazzo chiamato Humphrey Potter, incaricato di questo ufficio, pensò bene di sbarazzarsene, legando al bilanciere medesimo un' asta portante le due valvule. Nel 1717 la

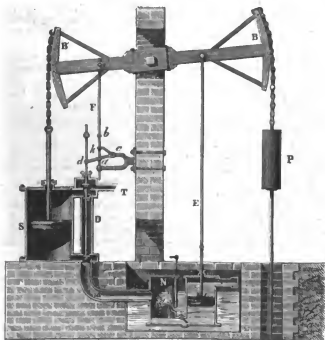



Fig. 264.

macchina aveva ricevuto tutti i perfezionamenti, e funzionava a maraviglia. Ma in questo l'acqua iniettata raffreddava il cilindro e lo stantuffo; e però molto del nuovo vapore si consumava per tornarli a riscaldare: il che significa che si esigeva grande spesa di combustibile.

Quindi Giacomo Watt scozzese nel 1763 pensò di produrre la condensazione fuori del cilindro, cioè in un recipiente (N) comunicante con esso per mezzo di un lungo canale (M). E l'introduzione di questo recipiente (N), chiamato il *refrigeratore* o il *condensatore*, costituisce il più essen-

mantenersi a temperatura inferiore a quella di ebollizione, ad onta che sia esposto ad una sorgente di assai alta tem-

ziale perfezionamento di Watt. Ma questi inoltre dispose le cose in modo, che lo stantuffo grande (S) fosse sollevato dal solo contrappeso (P), ed il vapore agisse sulla parte superiore dello stantuffo medesimo per riabbassarlo. La macchina (fig.264.) così modificata fu detta *a semplice effetto*. Dopo queste furono costruite quelle *a doppio effetto*, nelle quali il vapore fa tutto; solleva cioè e deprime lo stantuffo, agendo or sopra ed ora sotto di questo. E tali macchine appunto passeremo a descrivere; principiando dagli accorgimenti, che vogliousi avere nella produzione stessa del vapore.

La prima cosa, che è necessaria in una macchina a vapore, è di scaldare una tale massa di acqua, che possa durare per molto tempo a somministrare senza interruzione una grande quantità di vapore, dotato di energica tensione. A questo scopo alla caldaia (fig.265.), che suol dirsi anche il *generatore*, si sottopongono due tubi (H) chiusi, e comunicanti con essa, chiamati *bollitoi*; oppure anche si fa traversare la caldaia medesima da un centinaio di tubi del diametro di 4 in 5 centimetri, aperti da ambidue le parti, e terminati da un lato nella camera del fuoco (R), e dall'altro nel camino (O), donde escono i prodotti della combustione; e allora la caldaia chiamasi *tubulata*. Dallery nel 1803 ne concepì l'idea, e nel 1827 Seguin la perfezionò. Così è assai accresciuta la superficie dell'acqua, che riceve direttamente l'azione del fuoco.

Ma le caldaie sono esposte a molti pericoli di esplosione; chè il difetto di solidità non è nè l'unica, nè l'ordinaria causa di tal disastro. Una cagione può essere il deposito, che nell'evaporare lasciano le acque non distillate. Il qual deposito arriva a formare una crosta salina poco conduttrice del calorico; e però le pareti della caldaia possono riscaldarsi fino alla roventezza. Nel qual caso se avvenga, che la crosta in qualche parte si screpoli e stacchi, l'acqua verrà in contatto del metallo rovente, e si convertirà tutto ad un tratto in una grande quantità di vapore, dotato di una forza superiore a qualunque resistenza. D'altra parte il raffreddamento istantaneo della parte, che viene in contatto coll'acqua, modificandone la struttura moleculare, la renderà fragile. A questo inconveniente si pone riparo alimentando la caldaia con acqua pura più che si possa, o meschiandovi delle sostanze, che mantengano il deposito allo stato pulverulento. In ogni caso è necessario ripulire spesso la caldaia; e però questa, oltre il tubo laterale (A), destinato a condurre il vapore nel cilindro, in cui trovasi lo stantuffo, à in mezzo una grande bocca o porta (T), detta dai Francesi *trou-d'homme*.

Il parziale riscaldamento può anche succedere, quante volte il livello dell'acqua si abbassi sotto al limite, a cui giunge la fiamma del focolare. Conviene quindi, che il detto livello stia costantemente sopra a questo limite. Ecco il perchè sulla caldaia medesima vi è il così detto *fischietto d'allarme* (D); il quale, essendo unito a un tubo, che pesca

peratura. Eppure ciò accade. Si versi qualche grammo di acqua in un crogiuolo d'argento o di platino incandescente;

nell' acqua, non è invasa dal vapore, se non quando l'acqua discende sotto il livello stabilito: ma quando il vapore può entrarvi ed uscire, mette in vibrazione un piccolo disco metallico, e gli fa rendere un sibilo acuto. Allora pel tubo (C), preparato a ciò, s' introduce altr' acqua nella caldaia. Ma anche prima dell' avviso del fischietto il macchinista può sempre conoscere il livello dell'acqua. Poichè vi è una pietra, che sta à galla sull'acqua, e però è detta il *galleggiante*, ed è raccomandata ad una catena, e per mezzo di questa ad un piccolo bilanciere; il

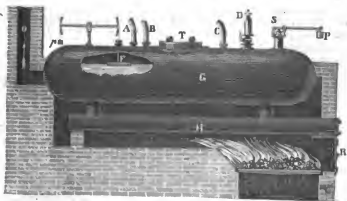



Fig. 265.

quale sostiene il contrappeso (destinato a sopportare una porzione del peso della pietra), e col suo volgersi a destra o a sinistra, mostra l' innalzarsi o l' abbassarsi dell' acqua. Anzi spesso questa è somministrata, per un congegno della macchina stessa, appena viene a discendere sotto il limite sopraddetto. Dacchè il condotto (C) talvolta comunica col serbatoio dell' acqua per mezzo di una valvula, la quale viene aperta da un altro galleggiante proprio allora, che questo si abbassa sotto il limite medesimo.

Offre un pericolo ancora l'eccessivo innalzamento di temperatura del vapore, pel quale innalzamento esso può acquistare una tensione più forte della resistenza opposta dalle pareti della caldaia. Per ciò questa è munita della sua valvula di sicurezza (S); e di più il galleggiante (F), che segna il livello, invece del contrappeso (p) porta uno sportello o *regolatore del fuoco*, il quale discendendo impedisce la circolazione della fiamma, e smorza il carbone.

Digitized by Google

essa conformasi in un globulo alquanto schiacciato, che senza bollire s' aggira con rapidità sul fondo del vaso, e lenta-

Finalmente possono accadere esplosioni anche per un subito abbassamento della pressione sofferta dall'acqua della caldaia; come avverrebbe se, per un' abbondante uscita di vapore, questo non potesse esercitare più che una pressione uguale ad un'atmosfera, e intanto avesse la temperatura di 144°. Allora non solamente avrà luogo una ebollizione rapidissima, ma il liquido sarà gettato impetuosamente contro le pareti della caldaia; insomma avverrà là dentro quello, che avviene nell' atto che la caldaia si rompe. È però che le valvule di sicurezza debbono avere dimensioni calcolate, ed è indispensabile che venga continuamente consultato il manometro annesso (in B) alla caldaia. E ciò basti relativamente al generatore: veniamo ora alla *macchina* propriamente detta; i pezzi principali della quale sono il cilindro, la camera di distribuzione, il volante, il tirante, e le trombe.

Il cilindro è (fig.268.) un gran tubo (AY) ben calibrato, e munito di suo stantuffo (P). L'asta (A) di questo esce a chiusura ermetica dal coperchio del cilindro medesimo. È in questo cilindro, che il vapore per un apposito condotto (*c*) si precipita, in virtù della sua espansività, e dà origine al movimento. Infatti per un congegno, che descriveremo fra poco, quando lo stantuffo sta in alto, si apre un esito all'aria o al vapore inferiore, ed è dato accesso al vapore che sopravviene dalla caldaia, affinchè inondi la parte superiore del cilindro medesimo; quando poi lo stantuffo è caduto in basso, si chiude nella parte superiore (al P) l'ingresso al nuovo vapore, e nella inferiore si apre un egresso a quello, che vi si era introdotto poco prima. A questo modo lo stantuffo (P) è forzato dalla forza elastica del vapore ad andare su e giù. Tutto qui dunque si riduce a trovar la maniera di dare alternamente questi ingressi, e questi egressi al vapore. Or questo si ottiene nella così detta *camera di distribuzione*.

Il vapore, che per elasticità fugge dalla caldaia, viene al cilindro pel condotto (*c*); ma questo invece di mettere immediatamente al cilindro imbocca nella camera, sovrapposta ad un fianco del cilindro, cioè appunto nella camera (*b*) di distribuzione. La quale è chiusa per ogni parte, ma dentr'essa si ritrovano sulla parete del cilindro (fig.266.) le bocche di tre condotti; uno (*u*) che va al cielo del cilindro, l'altro (*n*) che va al fondo, il terzo (*a*) che per un canale (o) esce fuori della camera e del cilindro. Inoltre vi è nella camera stessa (*l*) come un cassettino o tiratore (*al*); il quale è grande tanto da poter ricoprire la bocca mediana (*a*), ed una delle due laterali (*u* od *n*). E poichè questa, che vien chiamata *valvula a tiratore*, può scorrere su e giu sulla parete del cilindro; così quando sale (fig.266.), ricuopre e mette in comunicazione l'apertura superiore (*u*) colla mediana (*a*), affinchè il vapore che sta sopra lo stantuffo (P) esca; e lasci scoperta fuori di sè l' apertura inferiore (*n*), ed affinchè il nuovo vapore entri sotto lo stantuffo. Quando

mente evapora. Ma quando la temperatura si abbassa sotto quella della roventezza, il liquido concepisce una viva ebol-

poi il tiratore stesso (fig.267.) scende, lascia scoperta l'apertura superiore (u), e così il nuovo vapore si introduce sopra lo stantuffo; e di più il medesimo tiratore fa la comunicazione fra l'apertura mediana (a) e la inferiore (n), e quindi il vapore, che avea or ora riempiuta la parte

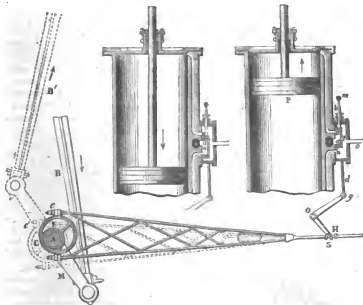



Fig. 266. Fig. 267.

inferiore del cilindro, può uscire pel condotto (o). Ma questo moto rettilineo (fig.268.) di su e giù dell'asta (A) non è tanto utile, quanto potrebbe esserlo un movimento circolare; dacchè questo si potrebbe prima attribuire ad una gran ruota (V), detta *volante*, la quale colla sua inerzia uniformasse il movimento or ora descritto, e poi si potrebbe convertire in molti altri moti di diversissima direzione. Ebbene; anche questo si ottiene agevolmente. All'asse (e) del volante sia stabilmente fissato un manubrio (K), e a questo sia impernato un albero (I) chiamato *biella*; tutto come nella macchina dell'arrotino. O questa biella sia imperniata ad un estre-

lizione, e in un attimo si disperde. Accade il medesimo degli altri liquidi a temperature proporzionali al loro punto di

mo e l'asta (A) all'altro estremo del bilanciere (L), il quale può concepire un moto di altalena intorno al fulcro fisso; oppure essa sia imperniata immediatamente sull'asta medesima; sempre si otterrà che, pei due colpi decisi del vapore sopra e sotto lo stantuffo, debba prodursi un giro del volante. Dico colpi *decisi*: perchè se la spinta della biella fosse continua, e quindi seguitasse ugualmente anche nei due punti così detti *morti*, quando cioè la biella (I) ed il manubrio (K) stanno nella stessa linea retta; il volante dovrebbe fermarsi, e la forza del vapore andrebbe a risolversi contro l'asse (*e*). Invece conviene che il manubrio (M) riceva un colpo secco in giù, quando lo stantuffo sta in alto (fig. 266.) e la biella (B) è discesa: ed un altro colpo in su, quando il manubrio sta nel sito simmetrico (fig. 267.); ossia quando la biella (B') è salita. Il moto poi non cessa al cessar del colpo, per l'inerzia dello stantuffo e specialmente del volante, come accade nella macchina dell'arrotino.

Anzi sarà appunto il volante quello, che muoverà acconciamente la *valvula a tiratoie*, per mezzo del triangolo (MS*e*) chiamato il *tirante*, e della leva ad angolo (H*oy*). In fatti dal mezzo del volante sporge un disco o carrucola (C*e*), il cui centro (E) resta in un fianco del centro (A) del volante stesso, e si chiama l'*eccentrico*. E poichè questo è abbracciato nella sua scanalatura da un anello; l'eccentrico dovrà, ad ogni girare del volante, far fare al centro (E) dell'anello (E*e*C) una rivoluzione intorno al centro (A) del volante medesimo. Ora al detto anello sono saldati i due estremi del triangolo (*e*SM) in guisa, che la base di questo viene costituita da un diametro (EM) dell'anello. E perciò al girar del volante, ed al conseguente ravvolgersi del centro dell'anello, dovrà la base del triangolo percorrere una rivoluzione, mantenendosi parallela a sè stessa, ed il vertice dovrà andare innanzi e indietro per un'asola (S) praticata in un pezzo fisso. A questo vertice è imperniato l'estremo (H) della leva ad angolo (H*oy*); dunque l'altro estremo (*y*) di questa dovrà andare su e giù, e portare su e giù anche l'asta (*dn*). Ma a questa è saldata l'altr'asta (*bu*), la quale entrando a chiusura ermetica nella camera di distribuzione (*l*) porta il tiratore (*nlu*): dovrà dunque anche questo andare su e giù col volante e collo stantuffo.

Nelle macchine per le locomotive la biella è imperniata all'asta dello stantuffo; ma in quelle che stanno fisse negli stabilimenti, essa è connessa (fig. 268.) al bilanciere (L) per mezzo di un così detto *parallelogrammo articolato* (DED), destinato ad impedirne ogni deviazione. Con ciò si ottiene di poter raccomandare al bilanciere altre aste (F,G,H), le quali portano gli stantuffi di certe trombe assai utili. Imperocchè nelle macchine fisse il vapore, che fugge dal cilindro (per *o*), non esce all'aperto; ma per mezzo di un condotto (Y) è avviato a quel recipiente (M), che viene appellato il *condensatore*. In questo ad ogni colpo di stantuffo, a liquefare il vapore uscente dal cilindro, è spruzzato un poco

ebollizione. Si noti che il liquido sotto forma sferoidale sta distaccato, e sollevato alquanto dal fondo del vase; come si

di acqua fredda, che viene aspirata da una tromba (R), il cui stantuffo per mezzo di una lunga asta (H) è messo in movimento appunto dal bilan-

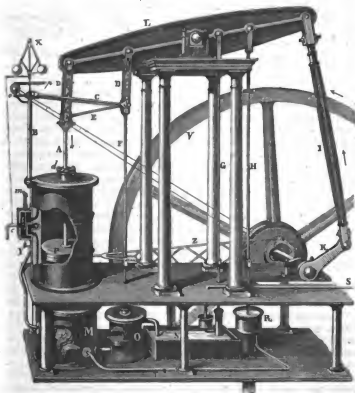



Fig. 268.

ciere. Con tal liquefazione si viene a far posto al nuovo vapore sopravveniente, il quale poi è alla sua volta liquefatto. Affinchè poi il condensatore non si empia di acqua o di aria, questa e quella viene aspirata da un'altra tromba (O) detta *ad aria*, e gettata in un serbatoio aperto (N), dal quale è attinta per mezzo di una terza tromba (*u*) chiamata *alimentare*, e per un condotto (*u*S) è mandata un'altra volta bell' e calda

Digitized by Google

prova sostituendo al vaso una lastra piana di platino, e all' acqua pura acqua annerita, e traguardando una fiamma col-

al generatore. Inoltre a far che questa non v' entri se non allora quando ve n' à bisogno, prima si deposita in un serbatoio, il quale sormonta un tubo verticale sollevantesi dalla caldaia. A tal uopo questo tubo è chiuso da una cateratlola, la quale, per mezzo della catena che sostiene il galleggiante sull'acqua della caldaia, si apre o si chiude a seconda che il galleggiante medesimo o scende, perchè l' acqua diminuisce, ovvero, all'aumentare di questa, risale.

Altre macchine, oltre che sono a *condensazione*, sono anche ad *espansione*, o *a scocco*. Così si chiamano quelle, nelle quali la comunicazione fra il cilindro e la caldaia è interrotta innanzi che lo stantuffo giunga a toccare o l' una o l' altra delle due basi del cilindro. Dapprima questo si fece per impedire gli urti troppo gagliardi dello stantuffo; ma presto si vide, che tale artificio riusciva assai economico. Infatti, se supponiamo che, quando lo stantuffo è al mezzo della sua corsa, si chiuda l'ingresso ad altro vapore, l'effetto di questo sarà minore, ma non minore per metà, come è metà in quantità; perchè il vapore entrato dilatandosi prosegue a spingere lo stantuffo, e produce ancora un effetto. Coll'interrompere l'ingresso del vapore ad un terzo o ad un quarto della corsa dello stantuffo, l'effetto utile è anche maggiore; e secondo fatti accertati, se l' interruzione è ad un decimo della detta corsa, l' effetto può essere più che triplo di quello, che si avrebbe colla quantità stessa di vapore entrante continuamente nel cilindro. Nella macchina di Woolf la espansione si fa in un cilindro a parte, e più grande.

Ma talvolta, per temperare la eccessiva forza della macchina, si sospende affatto l' ingresso del vapore, e questo parimente lo fa la macchina stessa: poichè si chiude una valvula (*c*) del condotto, pel salire che fa a tempo debito il collarino (*r*) del così detto *moderatore a forza centrifuga*. Questo è come un' ombrella a due sole bacchette, portanti due palle massicce di ottone, l' asta della quale quasi ombrella gira col volante, e fa girare con sè le due masse pesanti. Per lo che il volante, quando va con molta velocità, le costringe a salire e con esse le controbacchette, alle quali è impernato il collare; a quel modo medesimo, in cui si aprirebbe un' ombrella, quando il suo bastone si facesse volgere velocemente intorno al proprio asse. Ed è appunto il salire di questo collare (*r*) che chiude la valvula (*c*) del condotto, ed impedisce l' ingresso al vapore.

Vi sono delle macchine, nelle quali si può a piacere far girare l'albero in senso inverso, affinchè la locomotiva ritorni indietro. Questa operazione, detta *rovesciare il vapore*, si fa modificando tutto ad un tratto la posizione della valvula a tiratore, e dell' eccentrico. Si noti inoltre che la valvula non sempre è a tiratore; ma v'à dei sistemi diversi ancora più semplici conducenti al medesimo scopo. Come pure si avverta che la macchina descritta è la più facile forse ad intendersi, ma la più

locata nel piano della lamina. Or questa sollevazione suol essere attribuita alla forza espansiva del vapore interposto, ed arrecarsi come spiegazione del fenomeno ; in quanto che il liquido in tal condizione non può venire riscaldato altrimenti, che per raggiamento.

3° Cogli stessi principii si rende ragione di quel sorprendente fenomeno, che è noto sotto nome di *calefazione dell' acido solforoso*; e consiste nell' agghiacciarsi dell' acqua in un crogiuolo di platino infuocato. Infatti, l' acido solforoso anidro, che si versa in questo a goccia a goccia, prende lo

voluminosa ed incommoda nell' adoperarsi; perciò sullo stesso principio sono basate macchine molto differenti.

Anzi al presente vi sono macchine *a bassa*, *media*, ed *alta pressione*. Sono *a bassa pressione*, se la forza del vapore non supera un'atmosfera e un quarto; *ad alta*, se supera 4 atmosfere; *a media*, se la loro forza è fra quei limiti.

Si noti per altro, che la tensione sola del vapore non definisce quanta resistenza possa vincere la macchina : dacchè questa vince una resistenza, che è tanto più forte, quanto è maggiore non solo la tensione del vapore, ma anche la superficie dello stantuffo. Poniamo una macchina, il cui vapore possa essere portato senza pericolo, ed eccessivo dispendio (relativamente allo scopo) a 144°; la tensione del vapore sarà di 4 atmosfere (**76**.1.4°). Ma questa tensione si eserciterà sopra ciascuna unità di superficie dello stantuffo. Ora la pressione atmosferica sopra un centimetro quadrato è uguale al peso di 76 centimetri quadrati d'idrargiro. Onde, siccome il peso di 76 centimetri quadrati di acqua è per convenzione 76 grammi, e l'idrargiro pesa 13, 6 più dell' acqua; così la pressione atmosferica sulla detta unità di area sarà grammi $76 \times 13,6 = 1033$, e per conseguenza la pressione di 4 atmosfere sulla medesima varrà grammi $4 \times 1033 = 4132$. Poniamo ora che il diametro dello stantuffo sia di 80 centimetri: per conseguenza abbia un'aria $= 40^2 \times 3,1416 = 5026,5600$. Soffrirà una pressione data da quest'ultimo numero moltiplicato per l'antecedente 4132; ossia una pressione di grammi 20769735, che fa kilogrammi 20769,735 , oppure più di 20 tonnellate ; essendo convenuto di chiamare così un peso di mille kilogrammi. Ma saputo anche quanta resistenza possa essere vinta dalla macchina, non si conosce ancora il lavoro, che essa può fare; perchè in questo entra ancora la velocità: la quale dipende dalla corsa dello stantuffo, dalla lunghezza delle braccia del bilanciere, e da simili condizioni. L'unità di misura, adottata per rappresentare in numeri la forza totale del vapore, è quella necessaria a sollevare 75 kilogrammi all' altezza di un metro in un minuto secondo; e si chiama *cavallo-vapore*, o semplicemente *cavallo*. A capir bene il valore di qnesta misura, sappiasi che bisognerebbe disporre

stato sferoidale, e vi si mantiene per qualche tempo a temperatura inferiore a — 10°, che è quella appunto della sua ebollizione. Ove dunque durante tal tempo vi si aggiunga

di 5 cavalli e mezzo per ottenere in 24 ore il lavoro di un *cavallo-vapore*. Nelle locomotive (fig.269.) l'asta dello stantuffo opera direttamente su due grandi *ruote* (M) delle *motrici*, le quali stanno in mezzo al carro, che porta la macchina; e per l'attrito delle sottoposte rotaie sono forzate a girare, come farebbero se fossero dentate ed ingranassero nelle dette rotaie; e però la locomotiva si trasloca. La velocità di tal movimento dipende dalla frequenza dei colpi dello stantuffo, e dal diametro delle ruote motrici. Per ogni va e vieni dello stantuffo, le ruote fanno un giro e la locomotiva procede di un'intera circonferenza di esse; a condizione che la resistenza non sia maggiore dell'attrito, o perchè essa medesima è troppo grande, o perchè l'attrito è troppo piccolo; mentre allora accade che le ruote possono strisciare, o come dicono *pattinare*. Comunemente la corsa dello stantuffo è di 45 centimetri, e la circonferenza delle ruote motrici è di $4^m,40$. Ond'è che per fare 63 kilometri abbondanti a ora, ossia metri 17,6 ogni minuto secondo, lo stantuffo dovrà fare 4 doppie corse, cioè 3 metri e 60 centimetri a secondo.

Fu Robison amico di Watt, che nel 1759 ebbe la prima idea di far muovere le carrozze col vapore; Cugnot nel 1778 ne fece a Parigi una prova; Trevithick e Vivian nel 1802 costruirono la prima locomotiva con rimurchio di *vagoni* carichi; Blenkensop nel 1811 mise lungo la via una grimagliera, in cui ingranavano i denti di una ruota, perchè si credeva che l'attrito non bastasse ad impedire lo strisciamento delle ruote; nel 1812 Chapmann sostituì alla grimagliera una catena senza fine tesa parallelamente alle rotaie; Blackett pensò che l'attrito fosse sufficiente, purchè le ruote fossero caricate d'un peso proporzionato; Dodd e Stephenson tolsero il volante; quest'ultimo inclinò i cilindri, che poi furono posti orizzontali, e nel 1829 adottò le caldaie tubulate, e costruì la prima locomotica capace di produrre continuamente il vapore necessario al suo viaggio. Dopo si sono aggiunti sempre nuovi perfezionamenti, e se ne ottengono i risultati, che tutti conoscono. Anzi si sono fatte macchine ad aria compressa, macchine ad aria dilatata, ed anche a gasse.

Sono analoghe le macchine di mare; nelle quali lo stantuffo fa girare due grandi ruote laterali, e queste appoggiandosi sull'acqua con ciascuna delle palette, delle quali sono munite alla circonferenza, spingono innanzi il legno. L'invenzione di queste macchine si deve a Papin; ma fu veramente Fulton, che nel 1807 ebbe la gloria di risolvere compiutamente il problema della navigazione a vapore. Esso costruì in America un battello, che fece il servigio regolare fra New-York ed Albany. Nel 1812 apparve in Europa il primo battello a vapore, il quale sotto il nome di *cometa* navigò in Iscozia. Ma le ruote a palette (*à aubes*, dicono i Francesi) presentano molti inconvenienti. Poichè le palette descrivono un arco di

Digitized by Google

qualche goccia d'acqua; questessa, in virtù della sua affinità per l'acido solforoso, vi si unisce, e gli cede tanto calorico, che rimane gelata.

erchio, una componente della forza opera verticalmente e non cospira a fare avanzare la nave. Quindi si sono fatte le palette mobili, affin-

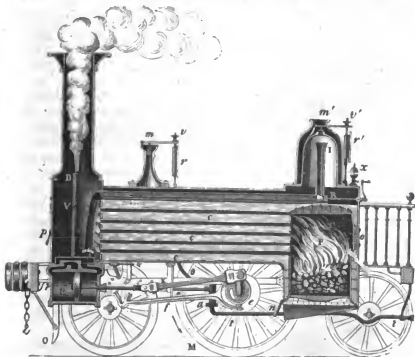



Fig. 269.

chè rimangano verticali per tutto il tempo dell'immersione. Ciò non ostante vi è perdita di forza. Oltracciò quando i flutti sono agitati, ora le ruote sono totalmente sommerse, ora sono tutte fuori dell'acqua; e nei bastimenti da guerra ritolgono un grande spazio ai cannoni, e sono troppo esposte ad essere schiantate dalle palle. Quindi alle due ruote si è sostituita un'elice. Per intenderne l'ufficio imaginiamo una grande vite a verme assai saglicnte fissata orizzontalmente sotto l'acqua dietro la nave. Ove a questa s'imprima un movimento molto rapido di rotazione sopra sè stessa, l'acqua si diporterà come una madrevite, e sup-

Digitized by Google

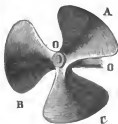
77. Conducimento. — Principiamo ora a studiare le leggi principali del calorico repente.

I. PROPOSIZIONI. 1ª *La facoltà conduttrice è varia nei diversi corpi.*

Dimostrazione. Tutti sanno che un solfanello fosforico di legno di pino, intanto che arde in una estremità, può tenersi impunemente fra le dita per l'altro capo. Nessuno parimente ignora, come per poter prendere in mano, senza scottamento, un vase metallico ripieno d'acqua bollente, conviene che esso sia munito di un manico o di legno, o almeno assai lungo. Dunque sono conosciuti i fatti, i quali mostrano la differenza, che esiste nella facoltà conduttrice dei corpi. I Fisici, a dimostrare e più specialmente a valutare tal varietà, sogliono fare il seguente esperimento. Prendono una piccola cassetta metallica (fig.270.), una parete della quale sia trapassata da tante verghette di sostanze diverse, e spalmate di cera; e poi vi versano acqua bollente. Dal vario tempo, impiegato dalla cera a liquefarsi sulle diverse verghe, confrontano e misurano la facoltà conduttrice dei corpi.

Fig. 270.

2ª *In un corpo esposto per una*

Fig. 271.

ponendo che non ceda affatto, farà avanzare il bastimento di un passo per ogni giro. L'acqua cede, ma cede tanto meno, quanto è maggiore la velocità. L'elice (fig.271.) si fa ordinariamente di una spira sola, e per darle minor lunghezza si divide in più parti (A,B,C) distribuite intorno all'albero (OR) presso la medesima sezione. È notabile che l'idea dell'elice è preceduto la scoperta della macchina a vapore. Duquet nel 1687 ne fece qualche tentativo inutile; ma Davide Bushnell in America riuscì nel 1777 a far correre un battello per mezzo di un'elice. Finalmente nel 1823 Delisle Capitano francese propose di applicare l'elice alle navi a vapore della marina da guerra.

estremità ad una sorgente calorifica, gli eccessi di temperatura su quella dell'aria ambiente, a distanze crescenti in progressione aritmetica, decrescono in progressione geometrica.

Dimostrazione. Si prende una sbarra di metallo (fig. 272.), vi si scavano tante fossette a distanze tutte uguali fra loro, e dentro queste si versa idrargiro; e finalmente nell' idrargiro si fanno pescare i bulbi di tanti termometri. Esposto allora un capo della sbarra ad una sorgente costante di calorico, per esempio alla fiamma di una lampada ad acquar-

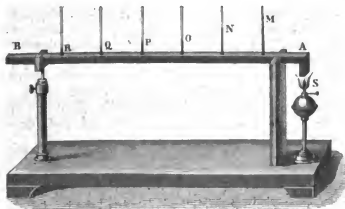



Fig. 272.

zente, si osserva come dapprima i termometri indichino la propagazione successiva del calorico repente; ma poi l' idrargiro cessa in essi di salire, e si ferma in ciascuno a diverse altezze, meno in quelli molto remoti dalla lampada, i quali mostrano invariabilmente la temperatura medesima dell' ambiente. Or bene: le differenze, le quali negli altri manifestano gli eccessi su questa temperatura, si trovano tali, che divise una per l' altra danno lo stesso quoto.

II. DEFINIZIONI. 1° I corpi, dotati di maggior facoltà conduttrice, chiamansi *buoni conduttori del calorico*.

2° Sono detti *cattivi conduttori* quelli, la cui facoltà conduttrice è debole.

III. SCOLII. 1° I migliori conduttori sono i metalli ; sono invece cattivi conduttori le resine, il vetro, il legno, la seta, i solidi organici (specialmente animali), i liquidi in genere (meno il metallo idrargiro), ed i vapori.

2° La legge del conducimento, cui abbiamo esposta nella seconda proposizione, non è esatta nel caso di temperature molto alte, e di cattivi conduttori.

3° Adesso intendesi anche meglio perchè una moneta si mostri più calda della carta, che la involge. Dappoichè la intensità della sensazione dipende, come abbiamo detto, dalla maggior quantità di calorico, che in un dato tempo viene ad aumentarsi o diminuirsi in una parte del corpo nostro. Ora la sostanza più conduttrice dà o toglie più calorico: perocchè pel suo buon conducimento, se è più calda, torna in ogni istante a riacquistare dalle altre sue parti quello, che dà a noi; se poi è più fredda, sollecitamente disperge e spande nelle altre sue parti quello, che viene ricevendo dal corpo nostro.

4° La diversa facoltà conduttrice dei corpi serve per mille utili applicazioni; e per essa si spiega perchè sogliansi usare i cattivi conduttori per vestire i corpi, dei quali si vuole mantenere costante la temperatura. Infatti i cattivi conduttori impediscono le perdite di calorico dei corpi caldi, e gli acquisti dei freddi.

5° Ma come accade che i fluidi, sebbene sien cattivi conduttori del calorico, pur si riscaldino ad onta che la sorgente calorifica li tocchi in una sol parte? Si potrebbe rispondere con una parola sola, dicendo che ciò a rigore avviene per *distribuzione* (o, come altri quasi paradossando dice, *per movimento idrostatico*), non per conducimento; ma è bene dichiarare questa risposta. Le parti inferiori dell' acqua, quelle cioè che toccano il fondo del vase esposto al fuoco, si riscaldano pel conducimento della materia del vase, quindi si dilatano, e però si alleggeriscono e salgono, cedendo il lor posto alle superiori men calde. Queste, cadute che sieno al fondo, prendono il calorico, e ascendono come le pri-

me; e così si stabiliscono due correnti, una ascendente di acqua più calda, ed una discendente della men calda: finchè ciascuna molecula, dopo esser andata più volte da sè ad attingere la sua porzione di calorico, può giungere a tale temperatura da passare violentemente in vapore; ed ecco l'ebollizione. Questo concetto si rende sperimentale gettando nell' acqua dell'ambra o della segatura di legno, la quale (fig.273.) sale in mezzo e discende dai lati in due correnti visibili. Accade l' analogo nell'aria. Il calorico solare la trapassa senza riscaldarla, ma le sue molecole inferiori sono riscaldate dalla Terra, e salgono; sottentrano le men calde, e così di sèguito.

6° Quindi la spiegazione dei venti. Relativamente ai costanti conviene avvertire che l'aria della zona torrida, come quella che è più riscaldata dalla Terra, si dilata, si alleggerisce, ed ascende. Quella delle regioni laterali più fredda e pesante, strisciando quasi sulla superficie terrestre, viene ad occupare il luogo abbandonato dalla prima. Intanto la più calda, avendo colla sua ascensione fatto sollevare il livello dell' atmosfera nella zona torrida, fa sì che una certa quantità di questo fluido men caldo si rovesci al di qua e al

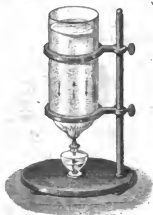



Fig. 273.

di là verso i poli, e vada a riempire lo spazio rimasto privo di quella, che si è portata alla zona torrida: quindi una continua circolazione. Ma si noti ancora che le varie parti della Terra, quanto son più prossime ai poli, tanto ànno minor velocità di rotazione: e però l' aria, che dai poli corre verso l'equatore, si ritrova ad ogni istante dotata di minor velocità di quella, che à ivi la Terra. Per la qual cosa queste due correnti d'aria, le quali, se la Terra non girasse diurnamente, sarebbero due venti, uno N, ed uno S, prendono una direzione risultante da N ed E, e da S ed E, ossia producono i due venti NE, e SE. E così è spiegato il vento *aliseo*.

Digitized by Google

Ma l'aria medesima, coll'avvicinarsi all'equatore, va acquistando sempre maggior velocità, e il vento di E scema verso l'equatore. Il contrario accade nelle regioni superiori della zona torrida, nelle quali l'aria, che era salita, riversandosi ai fianchi si trova dotata di maggior velocità di quella che à l'aria sulle latitudini maggiori; e quindi produce quel vento di O, che è stato verificato sulla sommità del Picco di Teneriffa, ed è manifestato dalle nuvole molto elevate, e forse anche dalle ceneri lanciate dai vulcani. È chiaro pertanto che i venti di O, e di SO delle parti boreali dell'oceano atlantico, e di NO nell'emisfero australe debbano dipendere dal discendere verso i poli l'aria equatoriale, che è la più veloce.

7° Quanto poi ai venti periodici, è manifesto oramai che questi debbano nascere dall'alternare che fanno nelle diverse

Fig. 274.

stagioni le correnti equatoriali colle correnti polari, con predominio ora della temperatura della Terra, ed ora di quella del mare. Basta riflettere che dopo il solstizio di Giugno domina il maggior riscaldamento nell'emisfero boreale, e dopo quello di Decembre nell'australe.

8° Finalmente i venti irregolari ed impetuosi non solo debbono essere prodotti dal convertirsi che fa il vapore delle nubi in acqua liquida; la quale, avendo un volume migliaia di volte minore, lascia in un istante un immenso spazio vuoto da occuparsi dall'aria; ma debbon dipendere ancora dai bruschi cangiamenti di temperatura, pei quali si àltera notabilmente la densità dell'aria medesima.

9° Siamo ora in grado di spiegare il miraglio. Dunque l'aria, specialmente sulle arene infuocate di Egitto, è più calda in basso che in alto; e però la luce riflessa dai cor-

pi terrestri dee subire in prossimità del suolo modificazioni inverse a quelle, che soffre la luce, la quale dagli astri s'introduce nell' atmosfera. L'una e l'altra per rifrazione (**17.** III. 3°) s'incurva: ma questa passa da strati più rarefatti, perchè meno compressi, ai più densi, e quindi offre la sua concavità alla Terra; quella, trascorrendo dagli strati meno rarefatti, perchè più freddi, ai meno densi, deve rivolgere invece alla Terra la sua convessità. Per la qual cosa la luce (fig. 275.) che è diffusa dalla parte superiore di un oggetto, per esempio dalla cima (A) di un albero, dopo essere discesa per un certo tratto (fino ad O), aumentando sem-

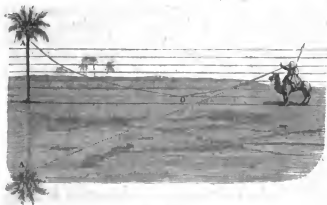



Fig. 275.

pre l'angolo d'incidenza, dovrà subire una riflessione totale (**19.**) e risalire. Giungerà pertanto all'occhio, come se provenisse da un punto (A′) più basso del suolo. Insomma la riflessione totale, preparata e prodotta dagli strati d'aria orizzontali, esibirà il fenomeno medesimo di riflessione, che è dato dall'acqua di uno stagno o di un lago. Questa spiegazione è stata ritrovata da Monge, allorchè facea parte della spedizione di Egitto. Biot à dimostrato che le diverse curve formate dai raggi, i quali arrivano (fig.274.) all'occhio (O), si tagliano due per due nel ramo, che è dalla parte (AB) dell'oggetto, in modo da formare una caustica,

o *traiettoria limite*, sotto la quale non può vedersi più nulla. È appunto da questa curva in giù, che accade il rovesciamento: e però un uomo, che s' allontana dall' osservatore (O), sembra che vada successivamente perdendo una parte sempre maggiore in basso; e che vi si unisca sottovolta la parte residua. Oltracciò il terreno dee prendere l'aspetto di un lago, anche perchè le imagini capovolte degli oggetti i più fermi continuatamente ondeggiano. Infatti, riscaldandosi fortemente il terreno nelle ore calde, gli strati inferiori dell' aria partecipano alla più alta temperatura; quindi si stabiliscono delle correnti, più o meno regolari, di aria più rarefatta ascendente, e più densa discendente. Per lo che i raggi, inviati dagli oggetti lontani, debbono diversamente rifrangersi dentro queste onde di variabile densità, e quindi giungere all'occhio quando con una, quando con altra direzione. Ne conseguita che le imagini degli oggetti medesimi debbano sembrare mal definite, ondulare, urtarsi, rompersi, e ricomporsi in ciascun istante; debbono insomma quegli oggetti apparire ricopiati sulla superficie di un' acqua agitata.

78. Calorico di stato, e calorico latente. — I. PROPOSIZIONI. 1ª *Quando un corpo di solido si converte in liquido, o di liquido in vapore, prende per sè dai corpi circostanti una certa dose di calorico, senza che se ne innalzi la temperatura.*

Dimostrazione. I. Si mesca un kilogrammo di ghiaccio a 0° con un ugual peso di acqua a 79°; si otterranno due kilogrammi d'acqua non a 39°,5, ma a 0°. Dunque il ghiaccio nel fondersi prende per sè, senza riscaldarsi, tanto calorico, quanto basterebbe a sollevare un ugual peso d'acqua da 0° a 79°. Fanno altrettanto anche gli altri corpi; ma non ne prendono tutti la stessa quantità: dacchè col liquefarsi riducesi a 0° un' uguale massa di solfo a 80°, di piombo a 90°, di zinco a 98°, di stagno a 278°, e di bismuto a 306°. II. Tuffate nell'acqua il bulbo del termometro ed, estrattolo, osservatene le indicazioni. Vedrete che la sua temperatura si abbassa di 5, o 6 gradi, ed anche più, se l'aria sia ben secca, cioè se è più veloce l'evaporazione del velo d'acqua, che lo bagnava. Maggior raffreddamento produce l' acquar-

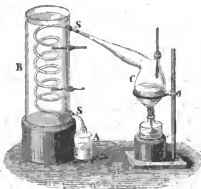
Digitized by Google

zente, che è più volatile; e maggiore ancora l'etere solforico. Anzi, rivestendo il bulbo del termometro con un pannolino inzuppato nel solfuro di carbonio, o nell'acido solforoso liquido, la rapidissima evaporazione di questi volatilissimi liquidi agghiaccia l'idrargiro del termometro. Per fare evaporar l' acqua sollecitamente giova porla sotto la campana pneumatica, unitamente ad un vaso di acido solforico. Facendo il vuoto è tolta la pressione dell'aria, e l' acido, avidissimo del vapore, libera l' acqua anche dalla pressione di questo. Ond'è, che se ne ottiene un raffreddamento capace di far gelare l' acqua residua. Se all' acqua sostituiscasi un miscuglio di acido carbonico solido e di etere solforico, la temperatura dei corpi circostanti giunge a — 110°; cioè al freddo più intenso, che siasi ottenuto fin qui.

2° *I vapori nel liquefarsi, ed i liquidi nel solidarsi cedono, senza abbassarsi di temperatura, gran copia di calorico ai corpi circostanti.*

Fig. 276.

Dimostrazione. 1. In un vase contenente 535 grammi d'acqua a 0° si faccia passare tutto il vapore, in che si converte un ettogrammo d'acqua esposta dentro un limbicco (fig. 276.) a forte calore. Appena il vapore è passato nell' acqua e vi si è liquefatto, il termometro segna 100° da per tutto, tanto nell' acqua ottenuta dal vapore, quanto in quella preesistente. Dunque il vapore à dato all' acqua, senza abbassarsi in temperatura, tanto calorico, quanto basta a sollevare da 0° a 100° una quantità d' acqua quasi cinque volte e mezzo maggiore. Dunque un kilogrammo di vapor d' acqua nel liquefarsi può dare ad un' ugual massa d' acqua tanto calorico, che sia capace di sollevarla da 0° a 535°; in altri termini può in-

nalzare di un grado 535 kilogrammi d' acqua. Fanno il consimile i vapori delle altre sostanze, ma in diverso grado: chè i kilogrammi d' acqua riscaldati di un grado sarebbero 75 per l' essenza di trementina, 80 pel solfuro di carbonio, 90 per l'etere solforico, e 208 per l' acquarzente. u. Empiasi un vaso con soluzione satura a caldo di solfato di soda ed, eliminatane tutta l' aria, chiudasi ermeticamente, e poi si raffreddi. A questo modo la soluzione si mantiene liquida, sebbene sia raffreddata; ma appena si apre il vaso, tutto ad un tratto rimane lì solidata, e nel tempo stesso riscalda sensibilmente tutti i corpi circostanti. Accade l'analogo in qualsivoglia altro liquido.

II. DEFINIZIONI. 1ª Si dice *calorico di vaporosità*, o *di evaporazione* quello, che in un vapore a temperatura di ebollizione eccede su quello del corpo stesso bollente.

2ª Chiamasi *calorico di liquidità* o *di fusione* quello, che si ritrova in un liquido a temperatura di fusione al di sopra del calorico, che sta nel corpo stesso in istato solido ed alla medesima temperatura.

3ª L' uno e l' altro à nome anche *calorico di stato*.

4ª Il calorico, che non àltera la temperatura dei corpi, è detto *latente*; e si denomina *sensibile* quello, che si manifesta o per sensazioni o per dilatazioni.

5ª Il fatto stesso, ossia il rendersi latente del calorico, dee chiamarsi *nascondimento*, e spesso è detto *assorbimento*.

6ª Lo sprigionamento del calorico latente, ossia il suo divenire sensibile, suol dirsi *emissione*, e potrebbe senza equivoco denominarsi *svolgimento del calorico*.

7ª Si dà nome di *miscuglio frigorifero* alla meschianza, che promuove delle fusioni, o delle soluzioni, e quindi il raffreddamento dei corpi.

III. SCOLII. 1° Ecco il perchè il ghiaccio impiega molto tempo a fondersi, benchè sia ambìto da aria di temperatura molto superiore a zero: ed ecco pure perchè il solidamento dei liquidi d'ordinario non si fa che lentamente.

2° È stato invocato il nascondimento del calorico di evaporazione per dare ragione della prima formazione della grandine. Dacchè molti Fisici ànno riconosciuto che le nubi gran-

Digitized by Google

dinose si trovano sempre in un'aria molto alida. Or questo facilita la evaporazione, e produce un grande abbassamento di temperatura; e però accade che anche in estate, anzi più spesso in estate, possano colassù congelarsi i vapori, e formare i nuclei della meteora. Ma come avviene, che questi s'ingrossino a segno da prendere quelle dimensioni straordinarie, che si narrano? Saussure credeva che il nevischio, nell' attraversare le nubi sottoposte, divenisse più compatto, ed aumentasse di massa e di volume. Ma così non calcolava il calore delle regioni inferiori, nè quello che si sviluppa nelle successive condensazioni dell' acqua, ossia nell' ingrossarsi della gragnuola. Volta imaginò invece il ballo elettrico, di cui abbiamo già altrove (53. IV. 8°) fatto cenno. In favore di questa ipotesi si è preteso di avere dimostrata la esistenza di strati di nubi in istato elettrico contrario; e di avere perfino, poco prima della comparsa della grandine, ascoltato il rumore dei granellini danzanti. Ma anche contro questa supposizione si sono elevate delle serie difficoltà, che restano tuttora insolute.

3° Dall'esposta teoria si trae la spiegazione di molti altri fenomeni. Mentre si spiega il freddo, che si prova a contatto dei corpi bagnati: la freschezza dell'acqua, che per la sua continua evaporazione non è mai tanto calda quanto l'ambiente: la differenza di temperatura dei due termometri del psicrometro, così chiamato da ψυχρός *fresco*, e μέτρον *misura*, e quindi la sua utilità igrometrica, cioè per misurare l' umidità, chè ὑγρός significa *umido*: la produzione dei gelati, mentre il ghiaccio tritato, ove sia costretto a fondersi e per istrofinio e per la presenza di un sale, dee far congelare una certa quantità di acqua contenuta nella sorbettiera: e finalmente i refrigeratori ad evaporazione, che consistono nell' esporre al Sole un vaso buon conduttore ripieno di acqua e ravvolto fra panni bagnati, affinchè venga a promuoversi una rapida evaporazione su questi panni, ed il rinfrescamento dell'acqua.

4° Si cava profitto dall'assorbimento di calorico, che à luogo nella fusione, o nella soluzione, per averne intensi raffreddamenti. Dappoichè la neve, nel liquefarsi per la sua affinità col sale marino, può abbassare la temperatura fino a —18°,

e col cloruro di calcio, fino a — 50°. Ottiensi anche raffreddamento col meschiare, nelle debite proporzioni e condizioni, un qualche sale in un acido o anche nell'aqua, affinchè vi si sciolga. Infatti la neve, che sciogliesi nell' acido solforico, se è molta, desta tanto raffreddamento, che supera ed occulta il riscaldamento dovuto alla combinazione chimica; il solfato di soda, che si discioglie nell'acqua, se è cristallizzato dà freddo, non così se sia anidro: perchè in quest' ultimo caso esercita un'azione chimica tanto energica, che sviluppa calorico maggiore del freddo prodotto dalla soluzione.

Fig. 277.

5° Le leggi sovraesposte ànno dato occasione all' invenzione delle *stufe a vapore*. Infatti avviando in un tubo, che giri intorno per le pareti di un appartamento, il vapore che si viene formando in un' apposita caldaia, mentre poco vapore si converte in acqua, il tubo e l'appartamento si riscaldano sufficientemete.

79. Calorico specifico. — Il calorico latente non solo è connesso col diverso stato dei corpi, ma anche colla loro diversa natura e densità.

I. PROPOSIZIONI. 1° *Due corpi di natura diversa, ma ad uguale temperatura e nello stesso stato, posseggono diverse quantità di calorico.*

Dimostrazione. È certo che, a sollevare di un solo grado la temperatura di due corpi di differente natura, è necessario aggiungere loro una diversa dose di calorico. Infatti, meschiando per esempio un kilogrammo d' idrargiro a 34° ad un' ugual massa d'acqua a 0°, si ottiene un miscuglio, che sta tutto a 1°. Dunque quella quantità di calorico, che innalza l' acqua di un sol grado, cioè da 0° fino ad 1°, innalza l' idrargiro di ben 33°, cioè da 1° a 34°. Parimente il miscuglio di una libra di limatura di ferro a 11° con una d' acqua a 0° mostra la temperatura di un sol grado. E per-

ciò il calorico abbandonato dal ferro, quello cioè che ne innalzava di 10° la temperatura, invadendo l'acqua non la riscalda che di un grado. Senza moltiplicar più gli esempii, questi già bastano a convincerci della tesi.

2ª *Quando un corpo diviene più denso, si riscalda e cede calorico ai corpi circostanti; viceversa, quando si rarefà.*

Dimostrazione della 1ª *parte*. I. Berthollet, Pictet, e Biot, avendo sotto il conio da battere le monete compresso bruscamente delle piccole pizze d'oro, d'argento e di rame, disposte in maniera da non potersi stendere di fianco, ne ottennero un sensibile riscaldamento. Il disco di rame al primo colpo si riscaldò di 11°,5, al secondo di 2°,5, ed al terzo di soli 0°,8; dopo di che non si compresse, e non si scaldò più. II. Colladon e Sturm presero (fig.277.) un pallone (B) di vetro, contenente un termometro (T) di Breguet, e pieno di liquido; cui, per mezzo di una tromba (S), sottoposero ad una compressione di circa 30 atmosfere. L'acqua dava deviazioni negative, indicanti cioè raffreddamento, per la compressione maggiore del metallo più dilatabile del termometro; l'acquarzente diede segnali più piccoli, il che indicava un riscaldamento; finalmente l'etere solforico, che si comprime un poco più degli altri liquidi, mostrò un innalzamento di temperatura da 4° a 6°. Altre esperienze, con una compressione di 40 atmosfere, ànno dato un analogo risultato. III. È evidente il riscaldamento dovuto alla compressione dei gassi. Quando nel così detto *acciarino pneumatico* (fig.278.) si deprime con impeto lo stantuffo, se ne à un tal riscaldamento, che un pezzetto d'esca vi si accende: il che importa una tempera-

Fig. 278.

tura di 300°. Avviene altrettanto con qualsivoglia altro gasse. Operando poi allo scuro, e comprimendo l'aria, o il cloro, o meglio l'ossigene, si vede eziandio un lampo di luce; non così, se si sostituisce a questi gassi l' idrogene, il nitrogene, o l' acido carbonico. Con due volumi d' idrogene ed uno di ossigene si forma l' acqua, s' ode una forte detonazione, e scocca una vivida luce. La quale devesi certamente a qualche azione chimica, determinata sempre dal calore, cui eccita la compressione: dacchè anche i tre gassi sopra eccettuati, quando sono compressi, scarcerano calorico sufficiente ad accendere qualche polvere non bisognosa, per bruciare, di combinarsi all' ossigene o al cloro.

Dimostrazione della 2ª parte. I. Se nelle sperienze di Colladon e Sturm il disco di rame dopo il terzo colpo non si riscaldò più, ciò avveniva, perchè i colpi successivi non davano una compressione permanente; ma la condensazione era seguìta da ritorno al primiero volume: nella quale restituzione, dovuta all'elasticità, rimaneva occultato tutto il calorico svoltosi nella compressione. II. Altrettanto dee dirsi della restituzione dei liquidi: mentre l'indice del termometro torna al suo posto, al cessare del colpo comprimente. III. Si colloca un termometro di Breguet sotto la campana pneumatica; e mentre l'aria si rarefà, si vede l' ago piegare dalla parte indicante freddo. Quando il vapore esce da una caldaia ad alta pressione, si raffredda e forma una densa nebbia, nella quale immergendo la mano si prova una sensazione di fresco. Facendo uscire da un piccolo orificio dell'aria umida compressa di 3 o 4 atmosfere, si produce un tal raffreddamento, che sopra una palla di vetro si depositano dei ghiacciuoli formati dal vapor d' acqua congelato. L' acido carbonico si solidifica all' uscir da un vaso, ove stava compresso sotto una cinquantina d' atmosfere.

II. DEFINIZIONI. 1ª La diversa quantità di calorico, cui una data massa di varii corpi, differenti in sostanza, esige per acquistare la stessa temperatura, dicesi *il calorico specifico* dei corpi medesimi.

2ª Viene chiamata *capacità pel calorico* l' attitudine, che ànno le varie sostanze corporee, di richiedere (ad onta che

abbiano la stessa massa) diversa quantità di calorico, per giungere alla temperatura medesima.

3° Alla quantità di calorico, necessaria a scaldare di un grado un kilogrammo d' acqua, fu dato il nome di *caloria*.

4° Gli strumenti, atti a misurare il calorico specifico dei corpi, sono detti *calorimetri*.

5° Lo studio e la misura del calorico latente, vuoi specifico, vuoi di stato, à nome *calorimetria*.

III. COROLLARII. 1° Dunque i corpi termometrici, nel dilatarsi o restringersi, non rappresentano tutto il calorico che ricevono o perdono: dacchè la rarefazione del primo caso e la condensazione del secondo fanno sì, che nel primo un poco di calorico si occulti, ed un poco se ne svolga nel secondo.

Fig. 279.

2° Dunque la capacità pel calorico, ed il calorico specifico crescono colla temperatura, specialmente nei corpi più dilatabili. Nel ferro, per esempio, il calorico specifico fra 0° e 100° è 109, fra 100° e 200° è 0,120; nel platino, nel primo caso è 0,033, nel secondo è 0,036.

3° Dunque il calorico specifico varia colla distanza relativa, e però collo stato di aggregazione delle molecule. Infatti nel rame ricotto, e malleabile, è 0,095; nel rame battuto ed incrudito è 0,093. Quindi è anche vario, secondo che i corpi sono o no cristallizzati.

IV. SCOLII. 1° Per determinare il calorico specifico dei corpi sono stati comunemente seguiti tre metodi; cioè il metodo delle mescolanze; quello della fusione del ghiaccio, e quello del raffreddamento. Black, Wilcke, e Crawfort idearono il metodo delle mescolanze. Si abbia un vaso di metallo (fig.279.) ben pulimentato, sostenuto da fili tesi, affinchè non partecipi alla temperatura del sostegno; e pieno d' acqua a temperatura cognita, e vi s' immerga dentro un altro corpo solido o liquido; affinchè uno dei due (acqua e

corpo immersovi) si riscaldi col calorico perduto dall' altro, e tutti a due giungano alla temperatura medesima. Allora dai gradi del rispettivo raffreddamento, e riscaldamento si deduce il rapporto dei calorici specifici. Preso, esempigrazia, un kilogrammo d' acqua a 0°, e due kilogrammi d' idrargirò a 100°, si versi tutto nel sopraddetto vaso, o calorimetro, e si agiti il miscuglio finchè abbia acquistata un' uniforme temperatura; questa si trova essere di circa 6°. Quindi si ragioni così: Se anche l' idrargiro fosse stato un kilogrammo, l' acqua si sarebbe scaldata di soli 3°, perdendo l' idrargiro ben 97°; per conseguenza quel calorico, che riscalda l' idrargiro di ben 97°, non riscalda l' acqua che di soli 3°; e però il calorico specifico dell'idrargiro è $^3/_{97}$ di quello dell'acqua, ossia circa 0,03. Basta ciò, per comprendere la legge, su cui si fonda questo metodo: la quale è, che *impedita ogni perdita di calorico durante l'esperimento, i calorici specifici sono in ragione inversa delle variazioni di temperatura*.

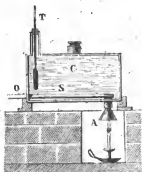



Fig. 280.

Per i fluidi elastici si usa il *calorimetro di Rumford* (fig. 280.). Il quale consiste in una cassetta di metallo (C) contenente un peso noto di acqua, in cui (fig. 281.) s'avvolge orizzontalmente a serpe un tubo (detto perciò *serpentino*) assai piatto, ed aperto da ambidue le parti (in A, ed O). I vapori, dei quali si deve conoscere la temperatura, entrano per l'estremo (A), e prima di uscire per l'altro (O) si collocano in equilibrio di temperatura coll'acqua. Quando pertanto si osservi, nel termometro (T) immerso nell'acqua, l' aumento di

Fig. 281.

temperatura di questa, si conosce il calorico specifico del vapore. Ove un kilogrammo di ossigene perda 60°, ed innalzi di 14°,2 la temperatura di altrettanta acqua, avrà un calorico specifico uguale a 14,2 : 60, cioè 0,2366. Così facendo si è trovato, che il calorico specifico dell'acido carbonico è 0,2210, dell'aria è 0,2669, del nitrogene 0,2734, del vapore acqueo 0,8470, dell'idrogene è 3,2936.

Fig. 282.

2° Laplace e Lavoisier adottarono il metodo della fusione del ghiaccio, indicato qualche anno prima da Wilcke; metodo il quale è fondato sul principio, che *la quantità di ghiaccio a 0°, che viene fusa, è direttamente proporzionale al calorico comunicatogli*. Si abbiano (fig. 282.) tre vasi metallici (M,A,B) posti uno dentro l'altro; nel più interno (M) si collochi il corpo, di cui domandasi la capacità calorifica, negli altri due si ponga del ghiaccio trito. Il gelo del vase esterno (B) serve ad impedire, che il calorico dell'ambiente, che deve avere una temperatura alquanto superiore a 0°, fonda il ghiaccio del vaso mediano (A); e però tutta la fusione, che à luogo in questo, devesi al calorico proveniente dal corpo (M) collocato nel centro dell'apparecchio. Or bene: l'acqua proveniente da tal fusione, per una chiavetta (D), si fa scolare in un sottoposto recipiente (fig. 283.), e si pesa. Poniamo che un kilogrammo di ferro a 100° fonda 14 centigrammi di ghiaccio, e che un kilogrammo d'acqua parimenti a

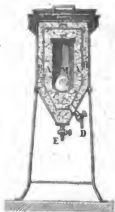



Fig. 283.

100° ne fonda 130; il calorico specifico del ferro sarà dunque 0,14 : 1,3, cioè 0,11. È inevitabile per altro che una parte dell' acqna rimanga aderente al ghiaccio non ancora fuso; d' altronde l' aria, che penetra nel calorimetro per la chiavetta (D), fonde del ghiaccio da sè. Però Black à proposto il così detto *pozzo di ghiaccio* (fig.284.), che è un masso di gelo, in cui prima si scava un foro, poi si ripone il corpo, e quindi vi si posa sopra, per chiuderne il foro, una lastra parimente di ghiaccio. Quando si à ragione per credere che il corpo siasi ridotto a 0°, si estrae, e si pesa l'acqua fusa.

3° Il metodo del raffreddamento, adottato da Meyer e Leslie, è fondato sul principio che *i tempi impiegati dai corpi della stessa massa, per raffreddarsi di uno stesso numero di gradi, sono proporzionali alle rispettive capacità calorifiche.* Veramente questo principio è rigoroso nel solo caso di corpi della stessa facoltà conduttrice, e posti nelle identiche condizioni. Quindi a rendere insensibile più che si possa l'effetto della diversa conducibilità, convien prendere masse molto piccole, ridurle in polvere, chiuderle in vasetti onninamente identici, e renderne assai lento il raffreddamento. Tuttavolta tal metodo non è abbastanza esatto, che pei liquidi. Regnault à fatto uno studio paziente di questo metodo. Esso si è servito (fig.285.) di un vase cilindrico (V) d'argento dorato, in cui introduceva il bulbo di un termometro sensibilissimo (T), circondandolo della materia da esplorarsi ridotta in polvere impalpabile. Questo vaso collocava isolato nel mezzo di un recipiente metallico, cui anneriva con nero di fumo, privava d'aria per un apposito condotto (R), e poi di vapor d' acqua, col farvi passare più volte dell' aria secca. Intanto l' apparecchio era immerso nell' acqua a 40°; quindi aspettava che il termometro segnasse 35°, e allora lo tuffava nel ghiaccio deliquescente. Presto il termo-

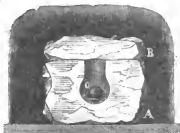



Fig. 284.

metro segnava 20°; da quel momento per mezzo di un cronometro si valutavano e segnavano gli istanti, nei quali il termometro passava per 15°, 10°, 5°.

V. LEGGI. 1° *I calorici specifici dei corpi semplici sono in ragione inversa dei loro pesi atomici* 1. Dulong e Petit, avendo misurato col metodo del raffreddamento il calorico specifico di tredici corpi semplici, scopersero nel 1819 questa legge. Imperocchè, moltiplicando il calorico specifico di ciascun semplice pel suo peso atomico, ne ottenevano il prodotto medesimo, o numeri pochissimo differenti fra loro. Legge che è assai importante: dacchè equivale a dire, che *gli atomi di tutti i corpi semplici sono dotati della stessa capacità pel calorico.* Infatti quanto maggiore è il peso atomico di un corpo, e tanto è minore il numero degli atomi, che sotto la stessa massa esso contiene; quindi i calorici specifici saranno in ragione diretta del numero

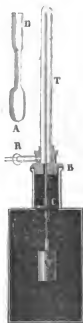



Fig. 285.

1 Si è dubitato della legge, perchè in qualche caso si è trovata falsa; ma ciò proverebbe solo l'esistenza di qualche eccezione. Del resto Regnault, avendo sostituito ed assai migliorato il metodo delle mescolanze, à potuto dare un catalogo di molte decine di corpi semplici, pei quali il prodotto del peso atomico pel calorico specifico oscilla fra 38, e 42; mentre il peso atomico varia fra 200 e 1400. D'altra parte conviene avvertire, che il calorico specifico è misurato a distanze differenti dal punto di fusione dei diversi corpi; e che il suo valore dipende dallo stato fisico. Oltracciò, se l'urano non soddisfa alla legge, Peligot à riconosciuto che questo corpo non è semplice, ma un ossido da cui esso à separato il metallo sotto nome di *uranio*; se per sottoporre l'argento, il potassio, ed il sodio alla legge è necessario assegnar loro un peso atomico che sia metà di quello adottato dai Chimici, Regnault con argomenti tratti dalle leggi chimiche e cristallografiche à provato, che i veri pesi atomici di questi corpi son proprio quelli che rispondono alla legge; se al carbone conviene raddoppiare il peso atomico per non escluderlo dalla legge comune, lo stesso Regnault dimostra che il peso assegnatogli dai Chimici è la metà del vero.

degli atomi: ossia ciascun atomo avrà la stessa capacità calorifica.

2ª *Il calorico specifico delle leghe, ad una distanza sufficientemente grande dal loro punto di fusione, è la media dei calorici specifici dei metalli, che le compongono.* Legge dimostrata da Regnault; donde risulta che è costante il prodotto del calorico specifico pel peso atomico medio, il quale è il peso dell'atomo della lega diviso pel numero degli atomi semplici, che la compongono. Or questo prova, che ciascun atomo semplice conserva la sua capacità, quando entra in lega. Mentre le leghe, allorchè sono prossime al punto di fusione, si ammolliscono o disgregano; se ne aumenta quindi la capacità, e dànno un prodotto più grande dell'ordinario, che è 4.

3ª *In tutti i corpi composti, della stessa composizione atomica, e di costituzione chimica simile, i calorici specifici sono in ragione inversa dei pesi atomici.* Si dicono corpi di costituzione chimica simile quelli, l'atomo dei quali è formato dal medesimo numero di atomi di ciascuna sostanza, come sarebbero RO, SO, RO^2, SO^2. Le leggi sopra enunciate non sono che casi particolari di questa.

80. Chiusa dell'articolo. — Ecco dunque che le leggi esposte nel presente Articolo ci rivelano nel calorico un altro strumento delle amorose cure della Provvidenza! Senza il calorico cesserebbero le arti eziandio più necessarie alla vita: cioè, e quelle per le quali si fondono, si purificano, si modellano i metalli; e quelle onde si vetrifica la sabbia, si calcina la pietra, si assoda l'argilla; e quelle per colorare i drappi, per ammollire e disciogliere le sostanze animali, per rendere più sani e deliziosi al palato gli alimenti; e tutte quelle, che ànno bisogno dei prodotti delle sopra citate per servirsene o come materia prima, o come attrezzo o macchina di ulteriori produzioni. Il calorico alleggerisce i vapori, perchè salgano a preparar la pioggia; combina i semplici; risolve i composti; dà un moderato rigoglio alle piante, il necessario vigore agli animali. Se il calorico venisse a mancare per un momento, tutto al Mondo, le sorgenti, l'oceano, e forse l'aria medesima diverrebbe di bron-

Digitized by Google

zo, e noi medesimi rimarremmo fatalmente assiderati. Quanto più procediamo nello studio della Natura, tanto meglio veniamo a scorgere come tutto concorre a provvedere sfoggiatamente ai nostri bisogni; dovunque scopriamo dei piani magnifici; e tra le parti ed il tutto, tra i mezzi ed il fine scorgiamo un ordine ammirabile, una connessione maravigliosa, un'armonia sorprendente. Ma, o Dio, che per quelli, i quali disdegnano di sentirsi ricordare le Tue perfezioni, e il Tuo diritto alla nostra libera servitù e regale sudditanza, questo, che ora è un agente cotanto benefico, si cangerà in ministro inesorabile e spietato della Tua giusta vendetta.

ARTICOLO II.

CALORICO RAGGIANTE, E SORGENTI CALORIFICHE.

81. Legge fondamentale del raggiamento, e diatermicità. — Passeremo ora a trattare di quella specie di calorico, che per propagarsi da un corpo ad un altro non à bisogno di appoggiarsi sopra verun ponderabile.

I. PROPOSIZIONE. *Il calorico si propaga per raggiamento sia nel vuoto, sia a traverso di certi determinati corpi.*

Dimostrazione. L'esistenza del calorico raggiante è evidente, ove si consideri che il calorico del Sole ci giunge a traverso di uno spazio vuoto di 152 milioni di kilometri, e di tutta l'atmosfera. Ma tal calorico è luminoso, ed il dubbio è caduto sul calorico oscuro. Scheele à dissipato tal dubbiezza facendo vedere, che il rinnovamento dell'aria davanti alla bocca di un forno non altera per nulla gli effetti del calorico proveniente da esso. Rumford poi à dimostrato coll'esperienza, che il calorico oscuro si propaga a traverso il vuoto. Un tubo (fig.286.) barometrico (B) termina nella sua parte chiusa in un pallone di vetro (R), in cui introducesi a chiusura ermetica un termometro (T). Empiesi il tubo stesso di idrargiro e, come nell'esperimento di Torricelli, si capovolge in una vaschetta (V) dello stesso liquido. Con ciò nell' interno del pallone rimane il più perfetto vuoto, che ci sia dato di fare. Allora bagnando il pallone medesimo con acqua calda, al—

l'istante si vede salire il termometro. Che ciò avvenga pel calorico trasmesso per raggiamento dal vetro del pallone, e non per conducimento operato dal cannellino del termometro medesimo, si dimostra dal fatto che l'idrargiro non sale, o sale pochissimo, se nell'acqua calda venga tuffato non il pallone, ma il detto cannellino. Viceversa, se il pallone vien tuffato nell'acqua molto fredda, l'idrargiro del termometro discende. Nè è da credersi che ciò provenga da un raggiamento del così detto *frigorico:* perchè, se il pallone tengasi per alquanto tempo immerso in un miscuglio anche più freddo, e poi si riporti nell'acqua fredda sopraddetta, l'idrargiro sale pel calorico lanciato da quell'acqua medesima, la quale poco prima sembrava che raggiasse quel tale agente fisico sopra nominato, cioè il *frigorico*, la cui esistenza non si è potuta mai dimostrare.

II. DEFINIZIONI. 1ª L'attitudine che ànno certi corpi di lasciare libero passaggio al calorico raggiante, da διά *per*, *a traverso*, e θέρμη *calore*, è chiamata *diatermicità* [1], ed anche *trascalescenza*.

2ª Dicesi *adiatermicità* l'opacità dei corpi pel calorico.

3ª I corpi vengono denominati *diatermici*, od *adiatermici*, secondo che sono o no trasparenti pel calorico.

III. LEGGI. Intorno alla diatermicità de'corpi, sono state dimostrate alcune leggi importanti.

1ª *La diatermicità è varia nelle diverse sostanze.* Infatti l'aria è molto diatermica, i liquidi in generale lo sono meno dei solidi, e fra questi stessi i metalli sono i più diatermici, ed il salgemma è tenuto pel diatermicissimo.

2ª *La diatermicità non va di pari passo colla diafanità.* Perciocchè l'allume e l'acido nitrico, che sono diafani, lasciano passare meno calorico, che una lastra quasi opaca di quarzo affumicato; le lamine affatto adiafane di mica o talco nero ànno una sufficiente diatermicità; una lastra di vetro nero non

1 Noi non adottiamo le parole *diatermasia*, e *diatermano* usate assai comunemente, per la ragione che esse furono adoperate dai Greci per significare quello appunto, che dai moderni Fisici si vuole con esse negare: dacchè διατερμασία dai vocabolarii vien tradotta *calor diffusus:* e διάτερμος vuol dire *fervidus*.

farà travedere nè anche il Sole, e intanto sarà traversata da un quarto del calorico incidente; e ne trapasserà circa la metà per una lastra di salgemma ricoperta con nero di fumo, e perciò opaco.

3° *La diatermicità diminuisce colla grossezza del diatermico, ma non è proporzionale a questa.* Dacchè, come ànno provato Melloni e Delaroche, la trasmissione calorifica diminuisce rapidamente al primo ingrossare della lastra diatermica, ma poi sempre meno, finchè diviene costante.

4° *La diatermicità aumenta colla levigatezza del diatermico, e a parità di grossezza diminuisce col numero delle lastre.* Ciò risulta da un numero considerevole di sperienze fatte coll'apparecchio, che descriveremo più sotto.

5° *La diatermicità varia col variare le sorgenti calorifiche, o la loro intensità.* Una lastra di vetro è assai diatermica pei raggi solari; ma non così per quelli dei fuochi ordinarii, e molto meno per quelli dei corpi oscuri, o di temperatura inferiore a 100°. Dacchè essa lascia passare più di un terzo del calorico incidente, il quale emani da una lampada a olio; e meno della quarta parte di quello proveniente da platino incandescente; appena il sedicesimo di quello emesso da rame a 400°; e nulla affatto di quello del rame, o dell'acqua a soli 100°. Non vi è che il salgemma, il quale trasmetta quasi tutto il calorico raggiato da qualsivoglia sorgente, e di qualsivoglia intensità.

Fig. 286.

IV. SCOLII. 1° Lo strumento più adatto per misurare la intensità del calorico raggiante è la pila termoelettrica (58.III. 12°); una faccia della quale, ove ritrovansi le saldature alterne (fig.287,288.), viene esposta al corpo raggiante, ed i cui reofori (68.III.4°,6°) sono congiunti al filo di un reometro moltiplicatore. Questo filo in tal caso (61.II.4°) dev'essere cor-

to e grosso. Melloni dalla pila termoelettrica di Nobili e dal reometro à ricavato il termometro il più sensibile, che si conosca, e lo à intitolato *termomoltiplicatore*. Basti dire che il calore di una mano, posta alla distanza di un metro dalla pila, è capace di far deviare l'ago del galvanometro.

2° Lo stesso Melloni per dimostrare le suesposte leggi à immaginato un apparecchio (fig.289.), che porta il suo nome. Un regolo di ottone, contrassegnato a millimetri, è tenuto per mezzo di due viti fisso e sollevato da un tavolino. Certi piedi metallici possono scorrere sul detto regolo, e fissarsi con viti di pressione a quella distanza, che si desidera. Uno (*a*) porta una lampada Locatelli, o qualche altra sorgente calorifica; un secondo regge una lastra adiatermica (F); un altro sostiene un diaframma (E) parimente adiatermico, forato nel mezzo; su quello che viene appresso si posano i corpi (C) da soggettarsi agli sperimenti; sull'ultimo (*m*) è raccomandata la pila termoelettrica, i cui due reofori (A, B) comunicano col reometro (D), che colla pila costituisce il termomoltiplicatore.

Fig. 287.

Fig. 288.

82. Propagazione ed intensità del calorico raggiante. —

I. TEOREMA. *Il calorico raggiante si propaga egualmente in ogni senso, per linee rette, ed istantaneamente.*

Dimostrazione. I. Intorno ad una palla di ferro rovente, ed alla stessa distanza da essa dispongansi molti termometri; si vedrà che tutti segnano in ciascun istante la temperatura medesima. Veramente i sovrapposti si riscaldano prima degli altri; ma ciò proviene dall' aria, la quale dilatandosi s' alleggerisce, sale, e li riscalda per conducimento. Infatti gli Accademici di Firenze ànno veduto che tal differenza cessa, ove i termometri sien collocati nel vuoto. II. Se fra il corpo caldo ed una delle bolle del termometro differenziale vengano schierati varii diaframmi, cioè varie lastre di metallo forate in mezzo, si osserva come il termometro non si riscalda, che allorquan-

do tutte le aperture dei diaframmi sono disposte sulla medesima linea retta. III. È certo che la propagazione del calorico a distanze ordinarie può considerarsi come istantanea. Dappoichè, non sì tosto rimuovonsi gli ostacoli, i quali arrestano il passaggio del calorico nel suo tragitto dalla sorgente ad un termoscopio sensibile, che all'istante si avverte in questo un innalzamento di temperatura. È stato provato, che il calorico raggiato da una massa enorme di vetro in fusione si propaga istantaneamente fino alla distanza di oltre 100 metri. Visto per altro l'analogia grandissima, che passa fra la luce ed il

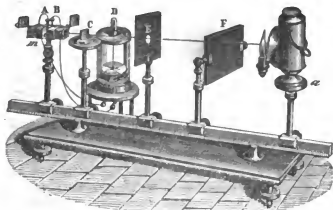



Fig. 289.

calorico, suol credersi comunemente che questo pure si propaghi colla velocità di 300 mila kilometri a secondo.

II. DEFINIZIONI. 1ª Ciascuna linea di calorico, che da un punto raggiante va ad un punto da esso riscaldato, chiamasi *raggio*.

2ª È detto *fascetto* o *pennello calorifico* un insieme di raggi, che partono da un punto raggiante, e giungono sopra una piccola superficie.

3ª Si chiama *intensità calorifica* la quantità di calorico, che perviene sull'unità di superficie, o trapassa per essa.

III. COROLLARII. 1° Dunque a parità di superficie l'intensità calorifica è direttamente proporzionale alla quantità del calo-

rico raggiante, ed a parità di quantità è proporzionale inversamente alla superficie. Questo corollario discende, come quello della luce (**6.**II.), dalla definizione della intensità.

2° Dunque la intensità del calorico raggiante è in ragione inversa del quadrato della distanza. Dacchè vale anche qui la dimostrazione recata (**6.**III.1ª) per l'analoga legge ottica.

3° Dunque la intensità del calorico, riscaldante per raggiamento una data superficie, cresce coll'ingrandirsi dell'angolo formato dal raggio calorifico colla superficie medesima. Perocchè, propagandosi il calorico come la luce, debbono in quello verificarsi le leggi stesse, che regolano (**6.**III.2ª) l'intensità di questa.

IV. SCOLII. 1° La legge dimostrata dà ragione del nome di raggiamento, adottato a rappresentare questa specie di propagazione del calorico.

2° L'ultimo corollario contiene la spiegazione del riscaldamento maggiore della zona torrida, delle vicissitudini delle stagioni, e della più alta temperatura delle ore meridiane. Infatti i raggi calorifici solari sono più riscaldanti in quelle località, in quelle stagioni, in quelle ore, nelle quali sono meno obliqui verso la superficie terrestre.

3° Ma qui resta a far osservare che, sebbene il Sole riscaldi più il 21 Giugno, che i giorni successivi, più a mezzodì che dopo; ciò non ostante il massimo calore si à in Luglio, e verso le due pomeridiane. Il che avviene perchè questo calore non è quello diretto dei raggi solari, ma è quello proveniente dal raggiamento della superficie terrestre, riscaldata dal Sole. Ora comechè in Luglio e dopo il mezzogiorno la Terra riceva dosi sempre decrescenti di calorico, pure queste addizionandosi al calorico preesistente fanno, fino ad un certo limite, aumentare la intensità del riscaldamento, e del raggiamento della superficie terrestre.

4° Ecco il perchè l'aria, sebbene debba essere tanto più rarefatta, quanto più alta ritrovasi; ciò non ostante i suoi strati inferiori vanno soggetti ad un'eccezione; perchè si riscaldano e dilatano più dei superiori. Quindi l'aria prima, e fino ad una certa altezza, va aumentando in densità in virtù del calorico, e poi, per la minore compressione che soffre, negli

strati più alti ritorna gradatamente a rarefarsi, fino a che cessa del tutto. Qui si riferisce la spiegazione del miraglio (**77**. III. 9°). Si può anche aggiungere che il riscaldamento, il quale à luogo nell'aria, durante la giornata, fa sì che l'atmosfera nelle ore vespertine venga a sollevarsi a maggiore altezza: onde può dirsi che essa è più spessa la sera, che la mattina. Non dee dunque far meraviglia, che l'atmosfera rimanga illuminata alquanto tempo dopo che il Sole è disceso sotto il circolo crepuscolino, distante 18° dall'orizzonte: il che spiega la maggior durata del crepuscolo vespertino.

83. Diffusione, e riflessione del calorico raggiante.

I. TEOREMI. 1° *Il calorico giungendo sopra certe superficie rimbalza indietro per ogni verso.*

Dimostrazione. Si collochi davanti ad un disco di legno, imbiancato con carbonato di piombo, una sorgente di calorico; e poscia gli si porti incontro la pila di un termomoltiplicatore, riparata dalla sorgente per mezzo di un adiatermico. Così facendo, il reometro accusa un riscaldamento, il quale non può attribuirsi al calorico emesso o raggiato dal disco: sì perchè cessa subito, appena con un adiatermico la sorgente viene nascosta al disco; sì perchè non sì tosto il detto adiatermico venga ritolto, all'istante ritorna a manifestarsi un nuovo riscaldamento. Melloni à provato eziandio, che un fascio di calorico, il quale è trasmesso da una lastra diatermica scabra, si spande in tutte le direzioni, come fa la luce trasmessa da un vetro smerigliato.

2° *Il calorico raggiante è rimbalzato da certi corpi in una direzione unica, e precisamente secondo le leggi di Catottrica.*

Dimostrazione. Già sappiamo (**13**. II. 2°) come la luce, la quale proviene da grandissima distanza, e imbatte sopra uno specchio sferico concavo di pochi gradi, intanto si rincontra tutta al fuoco principale (**14**. I. 3°), in quanto ciascun raggio viene dal detto specchio ripiegato in una direzione unica, e di più segue le leggi dell'ugnaglianza degli angoli, e della medesimezza dei piani di incidenza e di riflessione. Ove dunque anche il calorico possa subire la stessa modificazione, e nel rimbalzare ubbidisca alle leggi medesime, deve avverarsi che i raggi calorifici, i quali nell'incidenza sono paralleli,

nel rimbalzo trapassino tutti pel foco principale dello specchio. Or questo è appunto ciò che avviene di fatto; come provarono per i primi Pictet e Saussure a Ginevra colla così detta *sperienza degli specchi coniugati* (fig.290.). Si collochino uno incontro all' altro, e a distanza di 4 o 5 metri due specchi (M, N) sferici concavi di ottone, e nel fuoco principale (B) dell' uno (N) si ponga un pezzetto di esca o di cotone fulminante; nel fuoco poi (A) dell'altro (M) si metta una gabbietta con entro qualche carbone rovente; all' istante l' esca od il cotone s' infiamma. Dunque ecc.

II. DEFINIZIONI. 1ª Il rimbalzare che fa per ogni verso il calorico, incidente sopra certe superficie, chiamasi *diffusione*.

2ª L' attitudine dei corpi a diffondere in maggior copia il calorico, incidente sopra di essi, à nome *facoltà diffusiva*.

3ª Il rimbalzo del calorico in una direzione determinata viene chiamato *riflessione*.

4ª Si denomina *facoltà riflessiva* l'attitudine a riflettere.

III. LEGGI. 1ª *Il potere diffusivo è vario nei diversi corpi*. Infatti i metalli e specialmente l' oro, l' argento, lo stagno, il platino, il rame, esplorati come sopra, mostrano di godere di tal facoltà in grado eminente.

2ª *I corpi scabri posseggono maggior potere diffusivo dei levigati*. Ciò risulta da sperienze analoghe alle antecedenti.

3ª *Meglio diffondono i corpi bianchi, che i colorati e i neri*. E infatti il piombo ed il ferro ànno in certi casi un poter diffusivo inferiore a quello dei corpi bianchi non metallici.

4ª *La maggiore o minore diffusione dipende anche dalla natura e dalla temperatura della sorgente*. Secondo quello che risulta dalle sperienze di Melloni, fra i corpi assai diffondenti, solamente i metalli sopra nominati, e fra quelli che poco diffondono, il solo nero di fumo ànno forza diffusiva uguale pei raggi di qualsivoglia sorgente. Ma i corpi bianchi, per esempio, diffondono bene i raggi dei corpi roventi, e male quelli dei corpi oscuri. Anzi fra gli stessi sopraddetti metalli si rinviene qualche differenza.

5ª *La facoltà riflessiva ancora in corpi diversi è varia*. Essa è posseduta eminentemente dai metalli, ed in ispecie dall'idrargiro, argento, oro, ottone; ed invece par che manchi

affatto nella carta, nel vetro, specialmente se sia bagnato con acqua, e nel nero di fumo.

6ª *Il potere riflettente è forte nei corpi lisci, e debolissimo negli scabri.* Lo dimostrano numerose sperienze condotte nel modo che diremo qui appresso.

7ª *Si rinforza la facoltà riflessiva dei corpi coll'aumentarne la durezza, e la elasticità.*

8ª *Sembra che la riflessione avvenga anche sulle molecule*

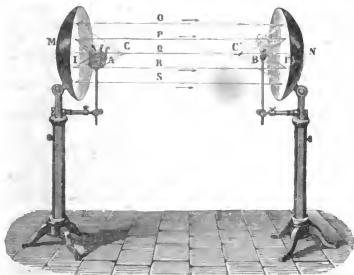



Fig. 290.

non del tutto superficiali. Perocchè, secondo le sperienze di Leslie, il potere riflessivo diminuisce collo stendere successivamente delle mani di vernice sopra uno specchio, e ciò fino alla spessezza di millimetri 0,04.

IV. SCOLII. 1° Per istudiare il potere riflessivo dei corpi senza farne altrettanti specchi, Leslie prende (fig.291.) per sorgente calorifica un cubo (M) pieno d' acqua a 100°; sull'asse di uno specchio sferico (N), fra il fuoco e la sua superficie, fissa una lastra (A) della sostanza, di cui cercasi la

facoltà riflessiva, e fra tal lastra e lo specchio colloca un bulbo (B) del differenziale. Con tal disposizione i raggi della sorgente costante (M) sono riflessi dallo specchio (N), ed incontrano la lastra (A); sono quindi da questessa riflessi di nuovo, e vanno a manifestare la loro energia al termoscopio.

2° Si parla anche di una riflessione irregolare diversa dalla diffusione, e proveniente dalla scabrosità della superficie; per la quale scabrosità i raggi incidenti sono sparpagliati secondo le varie inclinazioni dei punti superficiali, e ciascun raggio è riflesso regolarmente, ma in una direzione diversa.

84. Potere emissivo, e potere assorbente. — Già sappiamo (**75**.IV.6°) che cosa sia il potere emissivo: ora ci accingiamo a studiare le leggi sì di esso, come del suo contrapposto, cioè dell'assorbente.

I. DEFINIZIONI. 1° Il fatto del calorico raggiante, che s'intromette in un corpo per riscaldarlo, dicesi *assorbimento*.

2° Molti chiamano *assorbito* non solo quel calorico che è veramente tale, quello cioè che s'interna nei corpi per riscaldarli; ma anche quello, il quale nel trapassare pei corpi si perde affatto, e che però dovrebbe dirsi *estinto*.

3° È denominata *potere assorbente* o *ammissivo* la facoltà, che ànno certi corpi di accogliere in sè i raggi calorifici, e di riscaldarsi con essi.

II. LEGGI. 1° *Il potere emissivo è vario nei diversi corpi*. Per dimostrarlo si usa il cubo di Leslie (fig. **291**.), ricuoprendone le 4 pareti verticali con sottili lamine di sostanze diverse, empiendolo di acqua a 100°, e rivolgendone successivamente le singole facce ad un termometro assai sensibile. Con ciò si trova che il nero di fumo supera in facoltà emissiva ogni altra sostanza: anche l'acqua à un gran potere emissivo; poi vengono la carta, la pece, il vetro, il ghiaccio, la colla di pesce: il piombo appannato à una facoltà emissiva, che è metà di quella del nero di fumo; è anche minore quella dell'idrargiro, del piombo lustro, dal platino laminato, dello stagno, dell'ottone battuto, del rame, dell'oro laminato, e finalmente dell'argento battuto, che non emette quasi niente. Molte sostanze organiche, come le foglie dei vegetali, il cotone, la lana, le piume, ànno un potere emissivo non inferiore a

quello del nero di fumo. E infatti esse all'aria libera in una notte serena e tranquilla si raffreddano di 6, o 7 gradi più dei corpi circostanti.

2ª *I raggi calorifici sono emessi anche dai punti alquanto sottoposti all' esterna superficie de' corpi*. Abbiamo detto or ora che le superficie metalliche ànno una debolissima facoltà emissiva. Or bene: se una superficie metallica si rivesta con un velo di acqua, di olio, o con un sottitissimo strato di vernice, il potere emissivo è sensibilmente accresciuto. An-

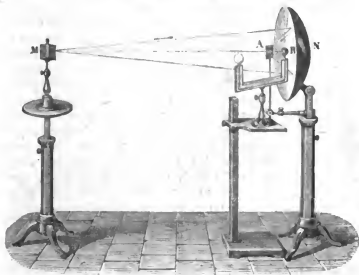



Fig. 291.

zi un secondo strato di liquido, o di vernice l' aumenta ancora; così un terzo, un quarto strato; ma al di là della spessezza di millimetri 0,04 non cresce più. Nei metalli per altro la varietà nella spessezza delle loro superficie non reca sensibile alterazione.

3ª *I raggi emessi sono tanto meno intensi, quanto è più obliqua la loro direzione verso la superficie raggiante*. Davanti ad uno specchio concavo (fig. 292.) si pone una scatola (MN) cilindrica, fatta di lastra metallica assai fina, girevole intorno

ad un asse orizzontale, e munita di un collo (M) per riempirla d'acqua calda. La faccia anteriore della scatola si cuopre con nero di fumo, si colloca al fuoco dello specchio un bulbo del differenziale, e fra il termometro e la scatola si dispongono due diaframmi (H, K), destinati a lasciare il passaggio ad un fascio di raggi paralleli. Si principia dal porre (come rappresentano le linee punteggiate) verticalmente la scatola; si attende che il termometro sia divenuto stazionario, e si nota la sua indicazione; poi la scatola si piega (in MN), e si osserva, che il termometro mostra la stessa temperatura. Ora nel primo caso la superficie raggiante era più piccola, era cioè un circolo (di diametro *a*C); nel secondo è più estesa, perchè è un'ellisse, il cui asse minore è uguale all'antecedente diametro (*a*C), ma l'asse maggiore è (*ab*) tanto più grande, quanto la scatola è più obliqua. Dunque l'intensità dei singoli raggi decresce coll'obliquità della superficie raggiante.

4ª *Di regola generale il potere emissivo cresce colla ruvidezza delle superficie, e diminuisce colla loro levigatezza.* Ove rivolgasi ad un termometro ora una faccia ben liscia, ed ora una scabra del cubo di Leslie riempiuto di acqua bollente, si avverte che, se quella lo fa innalzare di un grado, questa lo solleva di due ed anche più. Se non che le lastre di marmo, di avorio, ed altre non mostrano tal differenza.

5ª *I corpi di color bianco emettono meno degli altri il calorico.* Il che provasi con esperienze analoghe alle antecedenti.

6ª *Il potere assorbente di un corpo è uguale al suo potere emissivo.* Dulong e Petit l'ànno dimostrato colla seguente sperienza. In un recipiente ermeticamente chiuso, vuoto d'aria e mantenuto a temperatura costante si collochi il bulbo di un termometro. Si vedrà che il tempo impiegato, affinchè le temperature del termometro e del recipiente giungano all'equilibrio, è il medesimo, tanto allorchè la temperatura del recipiente supera di un certo numero di gradi quella del termometro, quanto allora che avviene l'opposto. Inoltre è un fatto che le sostanze più emissive sono anche più assorbenti, e viceversa; che il potere assorbente cresce colla ruvidezza della superficie, e diminuisce colla loro levigatezza; e che i corpi bianchi assorbono meno degli oscuri.

III. COROLLARII. 1° Dunque la facoltà riflettente va in senso inverso dell'assorbente ed emissiva. Dacchè, confrontando le ultime leggi colle antecedenti (83.III.), si vede come tutto ciò che rinforza questa facoltà affievolisce quella; e che i corpi più riflettenti sono meno assorbenti ed emissivi.

2° Dunque la superficie riflettente non solo respinge i raggi esterni, i quali si avviano per introdurvisi; ma anche gli interni, che le si presentano per uscire all'aperto.

IV. SCOLII. 1° Si capisce ora perchè i vasi metallici lustri sono assai acconci per mantenere caldi i liquidi. E infatti un

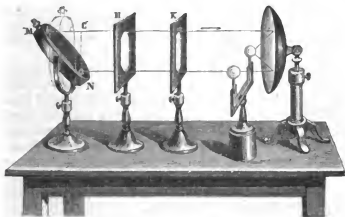



Fig. 292.

vaso d'argento ben lustrato emette (a parità di condizioni) metà meno di calorico, che un vaso di porcellana.

3° È probabile che il maggior potere emissivo ed assorbente delle superficie rozze non debbasi alla rozzezza loro, come opinò Leslie; ma piuttosto alla cagione assegnata da Melloni, cioè alla durezza ed elasticità delle parti interne (messe a scoperto col rigarle), minore in confronto di quella della superficie esteriore, che è stata modificata col martello o col laminatoio. Infatti una lastra fusa d'oro o d'argento, la quale sia stata rigata con una punta di diamante e però in-

durita, mostra minor facoltà emissiva di una simile ben pulimentata; ed i marmi non mostrano differenza veruna.

3° Le esposte teorie spiegano perchè le erbe, le foglie, la lana, ecc. soglionsi più abbondantemente degli altri corpi rivestire di rugiada o di brina; e perchè le acque stagnanti possono rimanere agghiacciate alla superficie in quelle notti, nelle quali la temperatura non discende sotto i 3° o i 4°. La grande facoltà emissiva dell'acqua, e delle sopraddette sostanze dee far sì, che quella scenda ad una temperatura alquanti gradi più bassa della comune, e queste liquefacciano e poi talora assodino il vapor d' acqua, che su loro viene a depositarsi.

4° La legge dell'uguaglianza fra il potere assorbente ed emissivo è la causa, per cui i recipienti metallici sono assai acconci sì per mantenere caldi, come per conservare freddi i liquidi contenutivi.

5° Ma la legge medesima soffre una interessante eccezione; ed è che alcuni corpi assorbono più i raggi calorifici oscuri, che i luminosi; e viceversa. Infatti il carbonato di piombo assorbe tanto calorico raggiato dall'acqua bollente, quanto ne assorbe il nero di fumo; invece, del calorico di una fiamma di lucerna non ne assorbe che metà meno. L'inchiostro della Cina assorbe meglio i raggi luminosi che gli oscuri; viceversa la neve. Quindi è che, passando da una ad altra sorgente calorifica, può non sussistere più la detta uguaglianza fra il potere emissivo e l'assorbente.

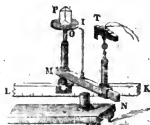
6° L'antagonismo poi, che esiste fra il potere emissivo ed il riflettente, spiega il perchè i recipienti tinti esternamente di nero assorbano ed emettano assai bene il calorico; e però non sieno atti a conservare la temperatura dei corpi, che essi contengono. Così parimente s'intende come l' uomo vestito di nero, e gli animali ricoperti di pelo scuro, ove stieno esposti al Sole, assorbono molto calorico; se poi stieno all'ombra, assai facilmente lo emettono.

7° Le dottrine stabilite fin qui giovano eziandio a dare una spiegazione soddisfacente dell' equilibrio delle temperature. Dapprima si era pensato che i corpi tendessero ad uguaglianza di riscaldamento, perchè il corpo più caldo cede continuamente calorico al meno caldo. Ma dacchè si è veduto che un cor-

po freddo raggia esso pure calorico, e riscalda ogni altro più freddo di lui; si è dovuto adottare la teoria proposta da Prévost di Ginevra, e chiamata *dell'equilibrio mobile*. La quale consiste nell'ammettere che tutti i corpi senza distinzione raggiano calorico, ma in maggior quantità ne raggiano i più caldi, che i meno caldi; e così, questi acquistando più di quelli, e quelli perdendo più di questi, dee avverarsi nei ponderabili una continua tendenza a possedere il grado medesimo di temperatura. La quale, ove sia raggiunta, si manterrà costante; perchè il potere emissivo è uguale all'assorbente.

85. Rifrazione, dispersione, e termocrosi. —
I. TEOREMI. 1° *Il calorico nel trapassare i diatermici si rifrange come la luce.*

Fig. 293.

Dimostrazione. Si conosce da gran tempo, che nel sito stesso, ove è il fuoco di una lente per la luce, si riunisce tale intensità calorifica, che i raggi solari sono capaci di accendere l'esca. Ma ciò si attribuiva alla presenza della luce. Melloni pel primo à ottenuto la riunione del calorico oscuro nel fuoco di una lente di salgemma. Il che prova come i raggi calorifici soffrono una deviazione nel passare di uno in altro mezzo diatermico, e che questa deviazione segue le leggi fondamentali di Diottrica. Il medesimo Melloni à mostrato col fatto, che il calorico, dopo aver trapassato un prisma di salgemma, si rivolge verso la base. Ecco la sua sperienza. Ad una delle colonnette scorrevoli sul regolo del suo apparecchio (fig.289.) infilza (fig.293.) un altro regolo (MN) girevole orizzontalmente intorno alla colonnetta medesima, e sostenente sì la pila termoelettrica (T), come un indice (I). La colonnetta stessa (MO) porta un disco orizzontale (O) metallico graduato sulla grossezza; ed appunto per i gradi di questo disco (O) scorre l'indice (I), quando si gira il regolo mobile (MN). Un prisma di salgemma (P) si posa colla base in posizione verticale sul disco (O), e si fa trapassare da un fascio di raggi

emessi da un vaso pieno d'acqua bollente, e circoscritti da un diaframma adiatermico. Allora, girando il regolo (MN) finchè la pila non dia indicazioni di riscaldamento, si vede che i raggi emergono dal prisma ripiegati verso la base di esso. E questo è, come sappiamo (21. II. 2ª), indizio infallibile di rifrazione. Come togliendo il prisma, così girandolo di 180°, l'ago del reometro ritorna al suo sito primiero; e però la deviazione non può attribuirsi nè ai raggi diretti della sorgente, nè a quelli che sarebbero emessi dal prisma, se esso ne fosse rimasto riscaldato.

2° *I varii raggi calorifici sono dotati di diversa rifrangibilità.*

Dimostrazione. Melloni costruì una pila termoelettrica con tutte le aste in uno stesso piano in guisa, che le saldature dello stesso fianco formassero una linea retta. Fermò tal pila (fig. 293.) sul regolo addizionale (MN) del suo apparecchio, ed avendo fatto cadere sul prisma (P) un fascio di raggi, limitato da una stretta fessura verticale di un adiatermico, dispose la pila stessa in modo da ottenere il massimo effetto. Con che ebbe a riconoscere che l'angolo, formato dal regolo stabile (LK) col mobile (MN), è tanto più grande, quanto la sorgente calorifica possiede più alta temperatura. Mantenendo poi la sorgente medesima, ma inviando al prisma i raggi, che avessero trapassato quando una, quando un'altra sostanza diatermica, ne otteneva deviazioni differenti. Dunque i varii raggi calorifici sono diversamente rifrangibili. Ed infatti, facendo che un fascio di raggi solari trapassi un prisma, non solo la luce, ma anche il calorico si disperge in tutta la estensione dello spettro. In altri tempi si credeva che la parte più luminosa dello spettro fosse anche la più calda, ed il calore veniva considerato come un attributo della luce medesima. Ma W. Herschel trovò il calore massimo fuori dello spettro al di là del rosso. Anzi, adoperando un prisma di salgemma, la maggiore intensità calorifica dista dal rosso quanto ne è distante il giallo. Melloni poi à mostrato, che anche un fascio calorifico oscuro si disperge in uno spettro, quando sia analizzato da un prisma di salgemma; e che i varii raggi sono estinti in proporzioni differenti da una stessa lastra diatermica.

by Google

II. COROLLARII. 1ª Dunque vi sono diverse specie di raggi calorifici. Questo corollario, cui nel 1811 Delaroche inferì dal fatto che il calorico, il quale à trapassato una lastra, soffre in proporzione minor perdita nel traversarne una seconda, fu posto da Melloni nella massima luce cogli esperimenti surriferiti, e con molti altri ancora. Da allora in poi si riconobbe, che le diverse specie dei raggi calorifici sono analoghe ai diversi colori della luce.

2ª Dunque sono più rifrangibili i raggi, che provengono da sorgenti più intense. E infatti, come abbiamo veduto, essi sono più deviati dal prisma. E siccome essi medesimi sono meglio trasmessi (81.III.5ª), però può dirsi che i raggi più trasmissibili sono anche più rifrangibili.

3ª Dunque le varie sorgenti calorifiche emettono raggi di specie diversa; ed i diatermici differiscono tra loro, riguardo al calorico, come i diafani colorati, o acroici, verso la luce. Imperocchè abbiamo veduto (81.III.5ª) che il solo salgemma lascia passare quasi tutto il calorico emesso di qualsivoglia sorgente, e che gli altri diatermici lasciano passare proporzioni assai differenti di raggi, secondo che questi provengono da una sorgente diversa, e secondo che ànno traversato o no una lastra di tale o tale altra sostanza, come fu dimostrato (83.III.4ª).

4ª Dunque i varii adiatermici, di uno stesso fascio calorifico incidente, diffondono differenti specie di raggi; in altri termini: essi si diportano verso il calorico, come rapporto alla luce gli opachi neri, bianchi, o colorati. Imperocchè, come fu accennato (83.III.4ª), alcuni corpi quasi non diffondono affatto, alcuni altri diffondono bene solo i raggi di certe sorgenti, o che ànno trapassato certi adiatermici, altri finalmente ne diffondono indifferentemente di ogni qualità.

III. DEFINIZIONI. 1ª La qualità diversa, che fa distinguere fra loro i differenti raggi calorifici, per l'analogia che à coi varii colori della luce, da θέρμη *calore* e χρώζω *colorare* è chiamata *termocrosi*.

2ª I corpi, che diffondono ugualmente bene ogni raggio di qualsivoglia termocrosi, come fanno per la luce i corpi bianchi, da λευκός *bianco*, e θέρμη *calore* son detti *leucotermici*.

3ª Quei corpi che, come fanno i neri verso la luce, non diffondono quasi affatto il calorico incidente su di essi, da μέλας, ανος *nero*, e θέρμη, diconsi *melanotermici*.

4ª I corpi che o diffondono o lasciano passare piuttosto una termocrosi che un'altra, come fanno i corpi colorati per la luce, ànno ricevuto il nome di *termocroici*; e *termocrosi* è detta questa loro qualità.

5ª Quelli, che lasciano passare indifferentemente ogni termocrosi, come gli scoloriti ogni colore, diconsi *atermocroici*.

IV. SCOLII. 1° Il salgemma, che lascia passare indistintamente tutti i raggi calorifici, non solo è il più diatermico, ma è anche atermocroico.

2° Il cristal di monte lascia passare minor quantità di calorico che lo spato islandico ed il vetro, quando i raggi provengono da una lampada Locatelli; ne lascia passare quanto lo stesso spato e più del vetro, se provengono da platino incandescente; e tutti sono ugualmente diatermici pel calorico del rame a 300°: sono dunque tre corpi termocroici. Le sostanze bianche, poichè diffondono più certi raggi calorifici, che certi altri, si ritengono per termocroiche: come pure sono leggermente termocroici, secondo Knoblauch, anche l'oro, l'argento, l'idrargiro, ed il rame.

3° Il talco nero non lascia passare che 0,004 del calorico, il quale à traversato l'allume, e 0,43 di quello che à trapassato pel vetro nero. L'acido citrico al contrario non lascia passare che 0,02 del calorico passato pel vetro nero, e 0,88 di quello che viene dall' allume. Dunque l' allume, e l'acido citrico ànno quasi la stessa termocrosi; invece l'allume, e il talco nero ànno termocrosi assai differenti. In generale i vetri di diverso colore ànno la stessa termocrosi; ma il vetro reso verde coll'ossido di rame è melanotermico: di modo che, frapponendo una lastra un poco spessa di questo vetro fra una lente esposta ai raggi solari ed il suo foco, qui si à uno splendore vivissimo, e nessun riscaldamento.

4° Il nero di fumo, facendo eccezione alla regola generale, è più diatermico pei raggi meno intensi, che per quelli molto caldi; ma non diffonde che pochissimo il calorico: e però non solo è nero per la luce, ma è anche melanotermico. All' in-

Google

contro il platino, il ferro, il piombo, lo stagno, lo zinco sono leucotermici; ossia diffondono ugualmente i raggi di diversa termocrosi.

5° Il massimo del calorico nello spettro, ottenuto con un prisma d'acqua, sta nel giallo; se il prisma è d' acido solforico, sta nell' aranciato; nel rosso, se è di cronne; al di là del rosso, quando è di flinte. Melloni à provato che questi cangiamenti di posizione provengono da ciò, che i raggi di differente rifrangibilità e termocrosi sono estinti o assorbiti in proporzioni diverse dai prismi di sostanze differenti.

6° Ora si comprenderà anche meglio ciò che già (**29**.II.4°) fu detto: che cioè l'azione dello spettro non termina là, ove fini-

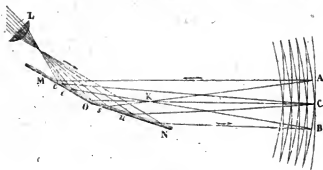



Fig. 294.

sce per i nostri occhi la luce. Infatti, col far passare un fascio di raggi solari per un prisma, si ottengono tre spettri; uno luminoso, che à il massimo d'illuminazione nel giallo; uno chimico, che opera colla massima forza al di là del violetto; ed uno calorifico, che mostra la sua maggiore intensità al di là del rosso. Nè dee recare meraviglia che in una lente i tre fochi luminoso, chimico, e calorifico sieno a rigore distinti.

86. Birifrazione, interferenze, e polarizzazione.

I. PROPOSIZIONI. 1ª *Il calorico viene birifratto dalle sostanze stesse, che rifrangono doppiamente la luce.*

Dimostrazione. Knoblauch à riconosciuto la doppia rifrazione calorifica, facendo trapassare un fascio di raggi solari per mezzo ad uno spato islandico. Esso medesimo à verifi-

cato che i due fasci avevano la stessa intensità. Nel tempo stesso Provostaye e Desains ànno osservato la doppia rifrazione del calorico dei raggi solari, con un prisma acromatico di spato islandico; ed ànno riconosciuta l'uguaglianza di intensità dei due fasci ricevuti direttamente sulla pila del termomoltiplicatore.

2° *I raggi calorifici soffrono la diffrazione, e le interferenze.*

Dimostrazione. Fizeau e Foucault ànno mostrato l'interferenza dei raggi calorifici per mezzo (fig. 294.) degli specchi (M,N) di Fresnel. La temperatura delle frange fu osservata con un termometrino ad acquarzente, il cui bulbo avea poco più di un millimetro di diametro, ed occupava il quarto della larghezza di una frangia lucida, e ciascun grado era lungo 8 millimetri. Il termometro medesimo potea traslocarsi nell'interno di una cassetta chiusa, in cui la luce producente le frange entrava per fessure ricoperte con ghiaccio, ed il quale termometro era osservato con un microscopio posto fuori della cassetta medesima. A questo modo si è anche provato, che la temperatura cresceva andando dal mezzo dell'ombra, di

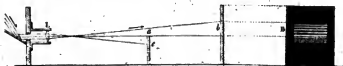



Fig. 295.

Fig. 296.

un opaco parallelo alla fessura, verso il limite geometrico della medesima. Knoblauch, che nel 1846 annunciò la diffrazione calorifica, à riconosciuto che un fascio calorifico, uscendo da una fessura, divergeva al di fuori del limite geometrico, e tanto più, quanto essa era più ristretta, e la sorgente lineare della luce trovavasi più lontana. La temperatura veniva misurata da una pila termoelettrica, la cui base era ricoperta da un diaframma munito di una fessura parallela alle frange.

Lo stesso à osservato le frange calorifiche (fig.296.), coincidenti con quelle luminose prodotte dall' orlo finissimo degli opachi. Finalmente, avendo proiettato sopra un piano gli anelli colorati (fig.295.) formati fra due vetri (fig. 297.), à potuto verificare che al centro la temperatura varia, secondo che vi si trova la chiazza lucida, oppure la scura.

3° *I raggi calorifici dopo essere stati riflessi, rifratti, o birifratti si mostrano polarizzati.*

Dimostrazione. I. Berard pel primo ottenne nel 1821 del calorico polarizzato, per mezzo della riflessione fatta da uno specchio di vetro. I raggi, provenienti da una seconda riflessione, erano da un piccolo specchio metallico concentrati sul bulbo di un termometro sensibilissimo; e poichè la loro intensità variava col cangiare l' angolo formato dai due piani di riflessione, si otteneva la certezza della polarizzazione calorifica. Provostaye e Desains ànno veduto che il calorico, il quale raggia obliquamente da una superficie riscaldata, è polarizzato in un piano perpendicolare a quello di emissione. II. Esperienze, fatte sulla trasmissione del calorico naturale a traverso delle lamine di vetro, o pile di lastre, ànno provato che il calorico si polarizza per semplice rifrazione; e che vi è uguaglianza fra le quantità di calorico polarizzate nei raggi riflessi e nei rifratti.

Fig. 297.

Fig. 298.

III. Melloni rendeva paralleli con uno specchio i raggi calorifici, poi li riuniva al foco di una lente di salgemma, ove poneva due tormaline sovrapposte (fig. 298.); una seconda lente di salgemma riceveva i raggi divergenti, e, resili paralleli, li avviava alla base della pila del termomoltiplicatore. Questo indicava una temperatura minima, quando le sezioni principali delle tormaline erano incrocicchiate; e massima, quando erano parallele.

II. scolii. 1° Il calorico birifratto e polarizzato segue in

Digitized by Google

tutto e per tutto le leggi della luce; come risulta da sperienze, che non lasciano verun dubbio.

2° Il quarzo e certi liquidi operano sui raggi calorifici precisamente come sui raggi luminosi, per farne rotare il piano di polarizzazione. Il che è stato dimostrato da Melloni e Biot.

3° Wartmann à ritrovato che un parallelepipedo di vetro, pesante e spesso 29 millimetri, quando sia esposto all'azione di un forte elettromagnete, fa deviare il piano di polarizzazione dei raggi calorifici polarizzati da un prisma di Nicol (**35**.III.4°).

4° Il medesimo à verificato, che il calorico diffuso dall'atmosfera è polarizzato nel piano stesso, in cui lo è la luce, che essa medesima c' invia.

87. Sorgenti calorifiche. — Più volte abbiamo nominato le sorgenti calorifiche; ma, prima di chiudere il trattato del calorico, conviene trattarne esprofesso.

I. SCOLII. 1° Fin qui colla espressione di sorgenti calorifiche (**74**.II.3°) abbiamo voluto intendere quei corpi, i quali posseggono da sè un calorico, cui non ànno ricevuto da verun altro. E questa nozione ci fu sufficiente per capire le dottrine, che abbiamo stabilite. Ma è ora di allargare un poco la nostra veduta. È indubitato che ordinariamente i corpi si riscaldano pel calorico, il quale vuoi per conducimento, vuoi per raggiamento vien loro comunicato o da qualche sorgente calorifica, come sarebbe il Sole, ed una fiamma, o da qualche corpo antecedentemente riscaldato **74**.II.4°). Ma v'à dei corpi, i quali o sono abitualmente, o in certe occasioni divengono caldi senza ricevere calorico da verun altro; e deve pur esservi qualche cagione o fatto, che per propria virtù eccita questo calorico, oppure è l'occasione di tale eccitamento. È di quei corpi, di queste cagioni, e di tali fatti, che entriamo a ragionare. Or bene: i corpi, che sono abitualmente caldi da sè, vengono considerati come altrettante sorgenti particolari di calorico. Quei fatti poi, in occasione dei quali si desta calorico nei corpi, senza che questo sia loro da verun altro comunicato, ritengonsi per sorgenti generali di calorico.

2° Le sorgenti generali del calorico sono di tre specie: cioè certe azioni I. meccaniche, II. fisiche, III. chimiche. Le sorgenti particolari poi sono altre astronomiche, cioè le stelle, il Sole,

e la Terra; ed altre fisiologiche, ossia gli animali e le piante. Probabilmente queste ultime sorgenti sono tali in virtù di qualcuna di quelle prime, e forse tutte si riportano ad una cagione sola; ma finchè ciò non siasi rigorosamente dimostrato e decifrato, converrà trattarle come cose distinte e separate.

II. PROPOSIZIONI. 1ª *Certe azioni meccaniche, cioè la flessione, la percossa, la frattura, l'attrito sono sorgenti di calorico.*

Dimostrazione. I. Piegando più volte di sèguito in senso contrario una sbarra flessibile, essa si scalda fortemente. Un certo Leroux, avendo stretto con una morsa una lamina di legno, ed avendola fatta vibrare con una ruota, i cui denti ne urtavano il capo libero, la vide bruciare nel sito, in cui era afferrata dalla morsa. II. Si può arroventare il ferro, battendolo sull'incudine. Poichè il calorico non viene comunicato che lentamente, ed è quasi istantanea la combustione della polvere in un cannone, il riscaldamento di questo deve attribuirsi all' urto dei gassi che ne escono, e dell'aria che impetuosamente vi rientra. III. Due pezzi di gelo, stropicciati insieme in un ambiente di temperatura inferiore a zero, si riscaldano

Fig. 299.

e si fondono. Il fosforo si accende per attrito. Un bastone di pino s'infiamma col solo girarlo rapidamente in un foro praticato in una tavola. IV. Le scintille dell'acciarino, e dei ferri di cavallo provano, che le particelle di ferro, staccate dall'urto delle pietre dure, si scaldano tanto da potersi combinare coll'ossigene dell'aria, e fondersi. Rumford à sperimentato che, col trapanare dei cilindri di bronzo immersi nell'acqua, questa si riscalda fino all'ebollizione.

2ª *Certe azioni fisiche, cioè la corrente elettrica, la condensazione, le mutazioni di stato, la capillarità, l'imbibizione, e l'assorbimento sono altrettante sorgenti di calorico.*

Dimostrazione. I. Già abbiamo parlato degli effetti calorifici (57.) della corrente elettrica, e dell'accensione prodotta (51.) dalla scintilla di una bottiglia leidense, o di un elettroforo nell'accendilume di Volta (fig.299.). II. Abbiamo anche veduto che nella condensazione (79.), non che nella liquefazione dei gassi, e solidificazione dei liquidi (78.) si desta calorico. III. Pouillet à trovato che le azioni capillari e le imbibizioni sono accompagnate da sviluppo di calorico. IV. Dobereiner dimostrò che il platino spugnoso assorbe un volume di ossigeno centinaia di volte maggiore del suo, ed intanto la temperatura s'innalza di molti gradi. Quindi *l'accendilume a platino* (fig. 300.); in cui l'idrogeno viene acceso dal nero di platino, su cui impetuosamente si getta.

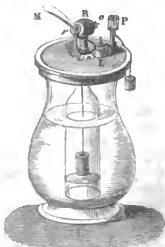
3ª *Nelle sintesi ed analisi chimiche si desta calorico.*

Dimostrazione. Questo già è stato dimostrato nel Capo Terzo della Sezione Prima; ove si è veduto che le fiamme, e le combustioni si debbono alle azioni chimiche. Qui rimangono solo a dirsi due cose. La prima è che le combustioni ottenute per analisi provano, come il calorico non sia dovuto interamente alla condensazione. L'altra è che il medesimo non devesi in tutto e sempre a svolgimento di calorico: mentre questo è talora maggiore nel composto, che nella somma dei componenti. Nondimeno bisogna convenire, che spesso il calorico può essere accresciuto o diminuito per la diminuzione o l'accrescimento vuoi del volume, vuoi del calorico specifico delle sostanze soggette alle chimiche azioni.

III. ALTRI SCOLII. 1° Quanto alle sorgenti fisiologiche, I. non solo gli animali così detti *a sangue caldo* (quali sono i mammiferi, e gli uccelli), ma anche quelli chiamati *a sangue freddo* (per esempio i pesci) generano continuamente del calorico. La differenza sta in ciò, che in quelli il calorico loro proprio compensa le perdite esteriori, e così essi ànno una temperatura pressochè costante; in questi la temperatura segue, senza che ne sia cimentata la loro esistenza, le variazioni dell'ambiente, tenendosene per altro superiore sempre di qualche grado. Il calorico interno dei primi rimane costante: perchè dove e quando fa più freddo la respirazione aumenta; perchè la traspirazione cutanea rinfresca; perchè i peli, la

lana, le piume, ed uno strato di grasso impediscono le perdite. La temperatura dell'uomo, osservata nei muscoli, è in ogni paese 37°, o in quel torno; ed uno di mezzana statura spande 180 calorie ad ora: onde può sollevare 542 metri cubici d'aria ad 1°; che è un terzo di più di quello, che può fare una lampada, in cui consumansi 15 grammi d'olio a ora. Il calore animale già si ascriveva ad una combustione effettuantesi nel polmone; al presente invece si ritiene che esso nasca in tutte le parti del corpo, ma che abbia un rapporto alla quantità di ossigene assorbita dagli organi respiratorii: dacchè è l'ossigene che fa le azioni chimiche, alle quali principalmente tal calore è da attribuirsi. II. Tali azioni àuno luogo anche nelle piante, e però anche in esse deve svolgersi calorico. Infatti la temperatura dell'*arum vulgare* supera di 8° quella dell'ambiente, e l'*arum cordifolium* la può superare di ben 30°.

Fig. 300.

2° Relativamente alle sorgenti astronomiche: I. è manifesto, che la sorgente più copiosa di calorico per la superficie della Terra è il Sole. Secondo le sperienze ed i calcoli di Pouillet, ogni centimetro quadrato della superficie solare emette in ciascun minuto 85 mila calorie; delle quali 23 mila sono ricevute in un anno sopra un centimetro quadrato dell'atmosfera terrestre. Ma l'aria essendo un poco adiatermica, e per le sperienze di Melloni anche termocroica, la Terra (di queste ultime 23,000) non ne riceve che 7 decimi. II. I quali servono per compensare il calorico, che la Terra raggia del proprio nello spazio. Dacchè secondo le indagini fatte a diverse profondità, (fra le quali la massima è quella esplorata da Humboldt a 607 metri sotto il livello del mare) risulta, che

sotto terra dapprima la temperatura diminuisce, fino ad una certa altezza, ove è uguale alla media del luogo, ed è costante, e poi cresce di 1° ogni 30 metri. Onde può arguirsi che essa a 2700 metri valga 100°, a 53 kilometri uguagli quella della fusione del ferro, e ad 88 ogni materia minerale conosciuta debba essere in piena fusione; e che forse nel centro della Terra domina un calore inconcepibile. Dal che s'avrebbe ad inferire che la crosta solida della Terra non è più spessa di un cencinquantesimo del suo raggio; e che la massa fluida interna deve risentire la forza che produce le maree. Se a questa causa s' unisca l'altra (che può ragionevolmente sospettarsi) dell' infiltrazione di liquidi nella gran caverna terrestre, o in questa immensa caldaia a vapore, si avrà una qualche spiegazione dei lenti cangiamenti di livello che accadono in certe regioni, dell'apparizione di montagne od isole nuove, dei terremoti, e dei vulcani.

3° Al presente si ammette da tutti che la Terra da principio fosse costituita da un ammasso di vapori; i quali raffreddandosi dovettero in gran parte liquefarsi, e raccogliersi sotto forma di una sfera, rigonfiata alquanto all'equatore in virtù della rotazione diurna. Così questa massa rimaneva racchiusa in un'atmosfera assai carica d'ossigene, e di acido carbonico; i quali due vapori si univano poi alle sottoposte sostanze metalliche, e pel successivo raffreddamento formavano una crosta solida di ossidi, o terre. Ma il nocciuolo liquido ristringendosi più della crosta, questa dovette rompersi e ripiegarsi in tutti i sensi; quindi le catene de'monti. Poscia le acque, prodotte dalla successiva condensazione dei vapori, a più riprese ricopersero il suolo, e depositarono dei frantumi di ogni specie; donde i differenti sistemi di montagne, gli strati, e la distinzione delle epoche geologiche. Già erano trascorsi molti e molti secoli, quando apparvero prima i vegetali, dopo i bruti, e finalmente l'uomo.

4° I corpi bruciando svolgono calorico in diversa quantità. Più di tutti ne desta l'idrogene, il bicarburo di questesso non ne dà che circa un terzo di quello svolto dall'idrogene, e più di un quarto l'olio di oliva; vengono appresso la cera, il carbon fossile, il fosforo, il carbone di legna, l'acquarzente,

la legna; finalmente il solfo riscalda ben **13** volte meno dell'idrogene.

5° Il calorico svolto per attrito è vario secondo la natura, e la costituzione delle superficie stropicciate. Dacchè il piombo si scalda più dello stagno, questo più del ferro, il sughero meno del vetro, della gomma lacca, dell'argento, ed in genere degli altri metalli; il raso bianco più del nero, il vetro smerigliato il doppio del liscio.

6° Quest'ultima legge favorisce l'idea che la cagione prima del riscaldamento sia l'agitazione moleculare, e che il calorico non sia che un movimento. Tanto più che quella legge sembra avverarsi anche nelle azioni chimiche. Dappoichè quanto è più energica la forza che unisce le molecule eterogenee, e quindi più impetuoso il conflitto moleculare, tanto maggiore abbondanza di calorico si svolge. Sebbene, al trar de' conti, la quantità totale sia identica in ambedue i casi: dacchè, se al calore, che ottiensi combinando l'acqua coll'acido solforico allungato, si aggiunga quello che si destò nell'allungarlo, la somma uguaglia il calorico svolgentesi dall'acido anidro.

7° Negli attriti, compressioni, trasfigurazioni, stiramenti di fettucce elastiche, oscillazioni, azioni chimiche, reazioni elettriche (**66**.III.10°) vi à spesa di un certo lavoro, ed apparizione di calorico; e ciò precisamente nel sito, come nell'esperienza di Leroux (II.1°), ove il moto è distrutto. Viceversa: un vapore riscaldato si dilata, spinge uno stantuffo, e si raffredda: un gasse non riscaldato si espande nel vuoto, sviluppa il lavoro della sua espansione, e si raffredda: un nastro assai stirato di gomma elastica, e abbandonato a se stesso, s'accorcia creando del lavoro, e si raffredda. Ond'è che i moderni Fisici amano dire, che, quante volte un lavoro meccanico è distrutto, vi à produzione di calorico; all'incontro quando questo sparisce, è fatto un lavoro.

IV. DEFINIZIONE. Dicesi *equivalente meccanico del calorico* la quantità di lavoro prodotta da una caloria; o, ciò che è lo stesso, la quantità di lavoro che, speso per strisciare, comprimere, combinare, desta una caloria.

88. Conclusione. — Che cosa è il calorico? Finora non sappiamo altro se non che il calorico è qualche cosa d'impon-

derabile. Ma è desso una sostanza, o una modificazione? Se è una sostanza, è forse la materia stessa della luce e dell' elettrico, la quale in virtù di un altro ordine di incitamenti e operazioni si rivela a noi sotto forma di calorico? oppure è un' altra cosa distinta e separata dalla materia producente i fenomeni lucidi ed elettrici? Se poi è una modificazione dell'etere diffuso in tutto l'Universo, consiste veramente in vibrazioni ed onde, o in altro genere di movimenti a noi ignoti? e se fossero onde, sono queste longitudinali come quelle del suono, o trasversali come quelle dell'acqua? Tutto questo si ignora. Altri sostengono, che il calorico è realmente una sostanza a parte, emessa dai corpi in forza delle azioni meccaniche, elettriche, e chimiche; ed altri invece opinano, che queste azioni producono un moto vibratorio nei ponderabili, e questo eccita le ondulazioni nell'etere: le quali ondulazioni debbono ritenersi per trasversali, in vista dei fenomeni della polarizzazione. Insomma alcuni professano con Newton il sistema così detto *dell' emissione*, ed altri con Descartes quello *delle ondulazioni*. Gli uni e gli altri spiegano bene i fenomeni; e sebbene l'ipotesi delle onde sia più semplice, esiga un minor numero di concessioni, specialmente per ispiegare le interferenze, ed abbia di più un riscontro del tutto analogo nelle leggi dell' Acustica; ciò non ostante la sua superiorità sull'altro non è ancor giunta al grado di certezza da appagare tutti i Fisici, ed accattivarsene il pieno suffragio. In fine convien confessare che la natura del calorico è tuttora per noi un mistero inaccessibile. Ma chi sarebbe così folle da astenersi perciò dal servirsene? Chi vorrebbe rinunciare alle grandi utilità, che esso ci reca, finchè non sia compiutamente dicifrato che cosa esso sia in se medesimo? Eppure vi à degli insensati, che rifiutano i vantaggi terreni ed eterni della Religione, perchè essa a nome di Dio, da Cui per altro a chiare note si mostra ispirata, propone cose, che superano l'umana intelligenza!

FINE DEL TOMO III.

INDICE

DELLE MATERIE CONTENUTE NEL PRESENTE VOLUME.

FISICA SPERIMENTALE.

SEZIONE SECONDA.

IMPONDERABILI.

Digitized by Google

CAPO SECONDO.

ELETTRICO.

Digitized by Google

CAPO TERZO.

CALORICO.

ERRATA CORRIGE.

PAGINA	LINEA	INVECE DI	LEGGI
12	5	camera lucida	camera oscura
19	24	trecento chilometri	trecento mila chilometri
20	10	Terra in T	Terra in T'

PAGINA	LINEA	INVECE DI	LEGGI
20	17	da T in T''	da T'' in T
20	21	è in T''	è in T
20	27	in T, ossia,	in T'', ossia
21	5	8,m 33s	8m,13s
30	6	sette	nove
43	4	diritta	capovolta
43	5	capovolta	diritta
45	31	si denomina *cataustica*	si denomina *catacaustica*
63	24	se $r—r'$,	se $r=r'$
80	16	relazione	soluzione
89	15	*di sfericità*	*di rifrangibilità*
91	9	di fatto	di salto
103	11	calore	colore
115	20	raggio ordinario	raggio straordinario
115	25	fascetto straordinario	fascetto ordinario
120	23	due cristalli	due prismi di Nicol costituiti da cristalli
132	27	ai loro punti	al suo punto
147	37	bismato	bismuto
165	35	degli unitarii	de' dualisti
166	2	dei dualisti	degli unitarii
169	12	(Q)	(R)
198	22	Van-Marun	Van-Marum
201	6	deferente	coibente
204	10	trico si scarica	trico —• si scarica
204	30	esterno (E) ed il capo (F)	esterno (F) ed il capo (E)
226	35	per altra tali	per altro tali
239	5	1s Si	1° Da σωλήν *tubo* ed εἶδος *forma* si
281	36	chè si storca	chè il filo si storca
307	12	passano	pescano
312	32	estenzione	estensione
320	21	I passaggi	Il passaggio
320	30	potere in esso ritenere	potere in quell'ambiente, che si trova intorno ad esso, ritenere
325	8	tutti i perfezionamenti	tutti questi perfezionamenti.
328	42	sale (fig.266.)	sale (fig.267.)
329	3	stesso (fig.267.)	stesso (fig.266.)
330	12	in alto (fig.266.)	in alto (fig.267.)
330	45	spruzzato	spruzzata
333	31	un'aria	un'area
334	14	troppa grande	troppo grande
349	21	è 109	è 0,109

22018